



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103630453 B

(45) 授权公告日 2015. 10. 28

(21) 申请号 201310554164. 4

(22) 申请日 2013. 11. 11

(73) 专利权人 湖南大学

地址 410082 湖南省长沙市岳麓区麓山南路

专利权人 湖大海捷(湖南) 工程技术研究有限公司

(72) 发明人 金滩 李平 尚振涛 郭宗福

易军 吴耀 谢桂芝

(74) 专利代理机构 北京康盛知识产权代理有限公司

公司 11331

代理人 张良

(51) Int. Cl.

G01N 3/56(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102590000 A, 2012. 07. 18, 全文.

CN 201277934 Y, 2009. 07. 22, 全文.

ES 1077409 U, 2012. 07. 17, 全文.

GB 1065788 A, 1967. 04. 19, 全文.

JP 特开平 11-23383 A, 1999. 01. 29, 全文.

US 20100054875 A1, 2010. 03. 04, 全文.

邓朝晖. 纳米结构陶瓷涂层精密磨削机理及仿真预报技术的研究. 《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(博士) 工程科技 I 辑》. 2004, (第 4 期), 15-26.

审查员 赵悦

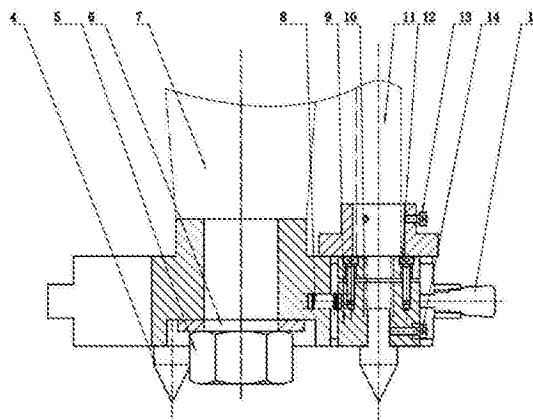
权利要求书1页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种可控制高精度磨削机理研究实验装置

(57) 摘要

本发明涉及一种可控制高精度磨削机理研究实验装置, 该实验装置包括以下特征: 基体上的结构互差 120° 分布; 上 T 形滑块和下 T 形滑块相对设置于基体的滑槽中; 金刚石工具与下 T 形滑块精密间隙配合; 圆口夹具放置于基体上, 毗邻上 T 形滑块; 轴向螺旋测微仪(分辨率为 1 μm) 放置于上 T 形滑块上, 与圆口夹具相互配合; 三个径向螺旋测微仪(分辨率为 10 μm) 互差 120° 分布在基体上; 基于该装置可控制、高精度等特性, 提出了单颗磨粒、双颗磨粒及多颗磨粒多角度全方位研究磨削机理的新思路, 尤其是研究相邻磨粒与磨粒之间不同的轴向间距与径向间距对表面形成机理和材料去除机理的影响规律。本发明结构简单, 操作方便, 研究方法新颖独特, 实用性较强, 测试精度高。



1. 一种可控制高精度磨削机理研究的实验装置,包括基体、上 T 形滑块、下 T 形滑块、金刚石工具、轴向螺旋测微仪、径向螺旋测微仪、圆口夹具,其中基体与机床主轴连接杆连接,并通过防松平垫圈和六角螺母固定,所述基体的轴线与机床主轴连接杆的轴线高度重合,所述基体上的结构互差 120° 分布,其上开有通槽,通槽顶面和底面的两侧有对称分布的直线滑轨,用于上 T 形滑块和下 T 形滑块的运动;通槽内侧开有用于安装弹簧的盲孔,所述弹簧的另一端与下 T 形滑块上的凹槽相连接,构成微小的反向预紧力,用于平衡径向螺旋测微仪的作用力;通槽外侧开有用于安装径向螺旋测微仪的螺纹孔和光孔;所述光孔外侧为一平面,用于定位径向螺旋测微仪;所述基体中心孔位置顶部设有凸孔,底部设有阶梯孔;所述基体顶面靠近通槽部分标有刻度,与上 T 形滑块上的刻度相对应。

2. 如权利要求 1 所述的可控制高精度磨削机理研究的实验装置,其特征在于,上 T 形滑块和下 T 形滑块相对设置于基体的通槽中,通过内六角圆柱螺钉连接,其中上 T 形滑块中心部位开有通孔,用于与轴向螺旋测微仪配合使用;上 T 形滑块上表面部分标有刻度,与基体顶面上的刻度相对应,构成游标卡尺,金刚石工具在径向位置的调节精度为 $12.5\mu\text{m}$;上 T 形滑块在基体上的运动满足平滑移动,无爬行现象产生。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的可控制高精度磨削机理研究的实验装置,其特征在于,下 T 形滑块中心开有阶梯通孔,上阶梯孔用于与轴向螺旋测微仪配合使用,下阶梯孔用于与金刚石工具高精度间隙配合使用;其左侧开有凹槽,用于与弹簧配合使用;其右侧开有螺纹阶梯孔,用于安装紧定螺钉来固定金刚石工具。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的可控制高精度磨削机理研究的实验装置,其特征在于,上 T 形滑块和下 T 形滑块构成一个滑块组,该滑块组在基体上沿径向的滑动距离为 2mm ,足以用来表征砂轮上磨粒与磨粒之间的径向间距。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的可控制高精度磨削机理研究的实验装置,其特征在于,金刚石工具与下 T 形滑块精密间隙配合,通过内六角圆柱螺钉紧固,其中金刚石工具在基体上的布置采用同心圆布置方法;通过旋转金刚石工具在下 T 形滑块的位置,来选择金刚石工具在磨削过程中的切入角;通过选择金刚石工具上的磨粒数来实现更多磨粒磨削试验。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的可控制高精度磨削机理研究的实验装置,其特征在于,圆口夹具放置于基体上,毗邻上 T 形滑块,其中圆口夹具与基体的相对位置固定不变,当上 T 形滑块和下 T 形滑块及金刚石工具整体在通槽上移动后,轴向螺旋测微仪的位置也需要随之变动,此时圆口夹具能够实现轴向螺旋测微仪的弹性制装夹。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的可控制高精度磨削机理研究的实验装置,其特征在于,轴向螺旋测微仪贯穿于圆口夹具,其上的一个端面置于上 T 形滑块上,通过互差 120° 分布的三个内六角圆柱螺钉夹紧,用于精密调节金刚石工具在轴向的相对位置;径向螺旋测微仪互差 120° 分布在基体上,由自身螺纹与基体连接,通过调节径向螺旋测微仪上的微调旋钮,使测微螺杆与上 T 形滑块接触并产生作用力,推动相互连接的上 T 形滑块、下 T 形滑块及金刚石工具整体在基体通槽中滑动,从而调节金刚石工具在径向的相对位置。

8. 如权利要求 4 所述的可控制高精度磨削机理研究的实验装置,其特征在于,为了保证轴向螺旋测微仪随滑块组在基体上沿径向的位置变动而变动,圆口夹具的通孔为轴向螺旋测微仪留有 2mm 的移动空间,当金刚石工具在获得了精确的磨粒轴向间距和磨粒径向间距后,将轴向螺旋测微仪和圆口夹具从基体上卸下。

一种可控制高精度磨削机理研究实验装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种材料测试技术和机械工程精密加工领域的可控制高精度磨削机理研究实验装置和研究方法,尤其涉及的是磨削加工中砂轮线速度大于 30m/s 时相邻磨粒与磨粒之间的干涉作用对难加工材料精密 / 超精密表面形成机理和材料去除机理研究的实验装置和方法。

背景技术

[0002] 随着科学技术和工业生产的不断发展,对机械产品及其零部件使用性能的要求越来越高,如要求材料的比强度高、耐高温、耐腐蚀、低应变及表面 / 亚表面低损伤甚至无损伤等。为此,出现了许多新型难加工材料,如新型结构陶瓷、功能陶瓷、现代光学材料、光学晶体及单晶硅片等。由于这些难加工材料具有一系列优良的机械物理性能,所以它在激光技术、光通讯、光电子、航空航天航海及国防工业领域中均得到了广泛应用。然而,这些难加工材料在磨削加工时往往易产生磨削力大、磨削温度高、砂轮易磨损、磨削比较低、表面完整性差等缺陷。如果精密加工的零件在磨削加工后存在表面划伤、表面粗糙等有害的加工痕迹和较大的表面 / 亚表面损伤、大的残余拉应力或压应力、表面硬化及污染层、晶格畸变层等缺陷,势必会造成高性能要求的精密零件疲劳寿命降低乃至灾难性的后果。其中,是否深入理解难加工材料的磨削机理及是否合理选择了磨削工艺参数都将会对磨削加工后零件的表面完整性产生至关重要的影响,表面形成机理和材料去除机理是由材料特性、磨料几何形状、磨料切入运动及作用在工件和磨粒上的机械及热载荷等因素交互作用决定的,而磨削工艺参数是由砂轮线速度、工作台进给速度及磨削深度等因素综合作用的结果。此外,砂轮是磨削加工过程中的关键执行元件,砂轮的表面状况对已加工表面质量具有重大影响,材料的高效去除、磨削表面的高质量成形以及冷却液的有效供给都要求砂轮表面上的磨粒必须具有合理的切削刃间距、表面等高性及足够的容屑空间,否则,易造成工件加工效率低,加工质量难以保证,表面 / 亚表面损伤大等不足。

[0003] 磨削机理一直以来都是精密 / 超精密加工研究中的难点。作为砂轮磨削过程的一种简化模型,单颗磨粒磨削是探讨复杂磨削机理的有效方法。然而,一方面,与砂轮的磨削试验相比,单颗磨粒磨削试验要求试验装置必须具有很高的精度,同时满足高转速条件下的强度要求;另一方面,磨削过程是由大量磨粒同时与被加工材料相互作用并完成材料的去除,在此过程中,由于参与磨削的磨粒数量多、磨粒切削刃形状及位置的随机性大、磨削速度高等多种因素相互影响,仅仅依靠单颗磨粒磨削来研究表面形成机理和材料去除机理是不够的。由于砂轮表面磨粒的分布是杂乱无章的,在磨削过程中磨粒与磨粒之间存在干涉作用,这在一定程度上势必会对表面成形和材料去除造成影响,为了多角度全方位地研究磨削机理,双颗磨粒和多颗磨粒磨削将成为系统研究表面形成机理和材料去除机理必不可少的研究方法。因此,为了提高难加工材料的加工效率、获得较高的磨削加工性及高质量的工件表面完整性,通过金刚石单颗磨粒、双颗磨粒及多颗磨粒磨削试验研究,深入分析磨削参数及磨粒与磨粒之间的干涉作用对表面形成机理和材料去除机理的影响规律是研究

难加工材料磨削机理、工艺优化和指导砂轮设计与制造阶段及磨削过程中砂轮修整等的重要途径。

[0004] 目前,进行表面形成机理和材料去除机理研究的成熟设备主要集中于划擦试验装置:如美国 MTS 公司的生产的 NanoIndenter XP 划痕仪、美国 Hysitron 公司生产的 TriboIndenter 划痕仪、美国 NANOVEA 公司生产的 SMT 划痕仪、英国 MML 公司生产的 NanoTest™ Vantage 纳米力学测试系统、印度 Ducom 公司生产的 Model TR-102-M3 划痕仪和瑞士 CSM 公司生产的 Nano Scratch Tester (NST) 划痕仪等。这些应用于材料测试领域的专用划擦试验装置具有较高的试验精度和良好的稳定性及实时监测功能,然而,这些划擦试验装置的划擦速度较低,且最大的划擦速度为 60mm/min,远远低于磨削加工时的砂轮线速度(通常大于 15m/s),与高速/超高速磨削情况下的砂轮线速度更是无法比拟。因此,在研究工程应用性较强的磨削加工材料磨削机理时,此类划擦试验装置无法准确模拟砂轮磨削加工时工件表面的物理变化过程。

[0005] 此外,虽然国内外学者在实验研究过程中自行设计了一些简单的单颗磨粒磨削装置,而且这些单颗粒磨削装置可以达到磨削时砂轮的线速度,甚至可以模拟高速/超高速磨削,例如:经对现有专利与文献的检索发现,专利申请号:US7302831B2, Moyses Allan H 公开了一种 Scratch testing device;专利申请号:201010300985.1,姚振强等人公开了一种光学玻璃测试装置;文献检索号:J. Am. Ceram. Soc. 88(2005)918-925, G. Subhash 等人公开了一种 A new scratch resistance measure for structural ceramics;文献检索号:J. Am. Ceram. Soc. 88(2005)918-925, G. Subhash 等人公开了一种 Sensitivity of scratch resistance to grinding-induced damage anisotropy in silicon nitride;日本熊本大学 T. Matsuo 等设计了单颗磨粒微观切削与划擦试验装置,采用粒度为 14/20# 的 CBN 和金刚石磨粒对钢和氧化铝进行了微观切削和划擦试验;Y. Ohbuchi 采用负前角为 -45° 、 -60° 、 -75° 的 CBN 和金刚石磨粒分别对 S50C 钢进行了正交切削试验;法国学者 Matthieu 等用车刀代替单颗磨粒进行划擦试验,研究磨削过程中材料的塑性变形和去除机理;东京工业大学 Zhang Bi 等研究了金刚石的顶锥角分别为 85° 、 108° 、 128° 和 65° 时单颗金刚石磨粒划擦的方法对氧化铝的表面破碎的影响;德国不莱梅大学 E. Brinksmeier 研究了低速条件下单颗磨粒划擦时磨削速度和磨屑厚度对淬火钢磨屑的形成机理的影响;西北工业大学黄奇、任敬心等最早开展了单颗磨粒磨削的试验研究;华侨大学林思煌、徐西鹏开展了单颗金刚石磨粒划擦普通玻璃的表面形貌和磨削力研究……这些公开的发明专利和经典的单颗磨粒划擦试验为我们研究单颗磨粒的切削行为提供了富有意义的指导。

[0006] 然而,无论从试验装置还是从研究方法来看都存在一定的局限性:从试验装置来说,一种是金刚石磨粒通过粘接或钎焊的方法与基体固结,另一种是单颗磨粒固定不动,工件装在砂轮盘上并随砂轮一起作回转运动,这两种试验装置中的金刚石磨粒都处于固结状态,不能根据试验所需进行可控的调节,更为重要的是,不能同时安装多颗磨粒;从研究方法来说,通常的单颗粒磨粒划擦试验是基于单颗磨粒切厚等于磨削深度,但是在实际的磨削过程中单颗磨粒切厚远小于实际磨削深度,更为重要的是,这些研究仅仅考虑到了单颗磨粒对表面形成机理和材料去除机理的影响,并不能从根本上解释实际磨削过程中砂轮上双颗磨粒或多颗磨粒之间的干涉作用对表面形成机理和材料去除机理的影响,从理论上分析,双颗磨粒或多颗磨粒之间的干涉作用将会对单颗磨粒最大未变形切削厚度 h_m 产生影

响,而单颗磨粒最大未变形切削厚度 h_m 对磨削过程中的磨削力、磨削温度有直接的影响关系,容易造成砂轮磨损、磨削加工质量不佳等问题。对于双颗磨粒磨削试验研究,即使有这方面的相关报道,如上海交通大学的顾伟彬博士对光学玻璃 BK7 进行了划擦试验研究,结果表明:磨粒之间存在一个最佳间距使得材料去除体积达到最大值;但是,该研究中的两次划擦是基于不可忽略的时间间隔情况下产生的,而硬脆材料在加工时裂纹的形成源于局部应力集中,一旦裂纹成核和扩展完成后,局部的应力集中将会减弱,所以划擦过程的开始和裂纹的形成必须基于有限时间间隔内,否则将有别于砂轮磨削时材料的去除机理,因此,该方法将不利于说明砂轮上磨粒与磨粒之间的径向间距对磨削机理的影响。

[0007] 此外,意大利学者 Alberto Carpinteri 和 Stefano Invernizzi 从数值仿真的角度研究了两个压头之间的径向间距对脆性材料材料去取机理的影响规律,结果表明:当两个压头之间的间距为 3 ~ 4 倍压头尺寸时,在获得高的材料去除率及低的比磨削能的同时还将大大降低表面 / 亚表面的损伤,从而为最优化超硬磨料工具提供有效的指导;但是,该研究仅仅基于数值仿真而未进行有效的实验验证,更没有一套可以真实模拟砂轮上磨粒与磨粒之间干涉作用的实验装置。

[0008] 针对以上现状,急需研制出一种构造简单、价格低廉、操作方便、控制精密、真实模拟高速磨削的多功能高精度难加工材料磨削机理研究装置,尤其是双颗磨粒或多颗磨粒磨削时磨粒与磨粒之间的干涉作用对表面形成机理和材料去除机理的影响。

发明内容

[0009] 针对上述技术问题,本发明通过提出一种可控制高精度磨削机理研究实验装置及研究方法,克服现有技术的弊端,实现砂轮磨削线速度大于 30m/s 的难加工材料单颗磨粒磨削机理研究;同时该装置解决了因磨粒过小 ($50 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$) 而不能靠近安装的难题,便于重点考察双颗磨粒和多颗磨粒在磨削过程中相邻磨粒与磨粒之间不同的轴向间距与径向间距的干涉作用对表面形成机理和材料去除机理的影响,从而为深入研究难加工材料磨削时的表面形成机理和材料去除机理、提高材料的加工效率与表面完整性及进一步为超硬磨料砂轮地貌的设计与制造及磨削过程中的砂轮修整提供可靠依据。

[0010] 本发明所采取的技术方案是:

[0011] 一种可控制高精度磨削机理研究的实验装置,主要包括基体、上 T 形滑块、下 T 形滑块、金刚石工具、轴向螺旋测微仪、径向螺旋测微仪、圆口夹具,其中基体与机床主轴连接杆连接,并通过防松平垫圈和六角螺母固定,所述基体的轴线与机床主轴连接杆的轴线高度重合,所述基体上的结构互差 120° 分布,其上开有通槽,通槽顶面和底面的两侧有对称分布的直线滑轨,用于上 T 形滑块和下 T 形滑块的运动;通槽内侧开有用于安装弹簧的盲孔,所述弹簧的另一端与下 T 形滑块上的凹槽相连接,构成微小的反向预紧力,用于平衡径向螺旋测微仪的作用力;通槽外侧开有用于安装径向螺旋测微仪的螺纹孔和光孔;所述光孔外侧为一平面,用于定位径向螺旋测微仪;所述基体中心孔位置顶部设有凸孔,底部设有阶梯孔;所述基体顶面靠近通槽部分标有刻度,与上 T 形滑块上的刻度相对应。

[0012] 此外,上 T 形滑块和下 T 形滑块相对设置于基体的通槽中,通过内六角圆柱螺钉连接,其中上 T 形滑块中心部位开有通孔,用于与轴向螺旋测微仪配合使用;上 T 形滑块上表面部分标有刻度,与基体顶面上的刻度相对应,构成游标卡尺,金刚石工具在径向位置的调

节精度可达 $12.5\ \mu\text{m}$;上 T 形滑块在基体上的运动可满足平滑移动,无爬行现象产生。

[0013] 根据本发明的另一方面,下 T 形滑块中心开有阶梯通孔,上阶梯孔用于与轴向螺旋测微仪配合使用,下阶梯孔用于与金刚石工具高精度间隙配合使用 ;其左侧开有凹槽,用于与弹簧配合使用 ;其右侧开有螺纹阶梯孔,用于安装紧定螺钉来固定金刚石工具。

[0014] 根据本发明的另一方面,上 T 形滑块和下 T 形滑块构成一个滑块组,该滑块组在基体上沿径向的滑动距离可达 2mm,足以用来表征砂轮上磨粒与磨粒之间的径向间距。

[0015] 根据本发明的另一方面,金刚石工具与下 T 形滑块精密间隙配合,通过内六角圆柱螺钉紧固,其中金刚石工具在基体上的布置采用同心圆布置方法 ;可以通过旋转金刚石工具在下 T 形滑块的位置,来选择金刚石工具在磨削过程中的切入角 ;通过选择金刚石工具上的磨粒数来实现更多磨粒磨削试验。

[0016] 根据本发明的另一方面,圆口夹具放置于基体上,毗邻上 T 形滑块,其中圆口夹具与基体的相对位置固定不变,当上 T 形滑块和下 T 形滑块及金刚石工具整体在通槽上移动后,轴向螺旋测微仪的位置也需要随之变动,此时圆口夹具可以实现轴向螺旋测微仪的弹性制装夹。

[0017] 根据本发明的另一方面,轴向螺旋测微仪贯穿于圆口夹具,其上的一个端面置于上 T 形滑块上,通过互差 120° 分布的三个内六角圆柱螺钉夹紧,用于精密调节金刚石工具在轴向的相对位置 ;径向螺旋测微仪互差 120° 分布在基体 1 上,由自身螺纹与基体连接,通过调节径向螺旋测微仪上的微调旋钮,使测微螺杆与上 T 型滑块接触并产生作用力,推动相互连接的上 T 形滑块、下 T 形滑块及金刚石工具整体在基体通槽中滑动,从而调节金刚石工具在径向的相对位置。

[0018] 根据本发明的另一方面,为了保证轴向螺旋测微仪随滑块组在基体上沿径向的位置变动而变动,圆口夹具的通孔为轴向螺旋测微仪留有 2mm 的移动空间,当金刚石工具在获得了精确的磨粒轴向间距和磨粒径向间距后,将轴向螺旋测微仪和圆口夹具从基体上卸下。

[0019] 本发明相比现有技术具有如下优点 :本发明装置结构简单,操作方便,研究方法新颖独特,实用性较强,测试精度高。本发明采用轻量化的结构设计、结构互差 120° 的分布模式、螺旋测微微调技术、游标卡尺原理、金刚石工具同心圆布置等方法设计并制造了一种创新性强的多功能高精度磨削机理研究的装置,基于该装置可控制、高精度等特性,提出了单颗磨粒、双颗磨粒及多颗磨粒多角度全方位研究磨削机理的新思路。本发明可以通过调节机床主轴的速度来得到不同的磨削速度,且磨削速度可达 30m/s ;通过调节机床 Z 轴的进给来获得不同的磨削深度,且分辨率可达 $0.1\ \mu\text{m}$;此外,本发明最重要的创新在于 :为深入研究难加工材料磨削时的表面形成机理和材料去除机理、提高材料的加工效率与表面完整性及进一步为超硬磨料砂轮地貌的设计与制造及磨削过程中的砂轮修整提供可靠依据。

附图说明

[0020] 现在将描述如本发明的优选但非限制性的实施例,本发明的这些和其他特征、方面和优点在参考附图阅读如下详细描述时将变得显而易见,其中 :

[0021] 图 1 是本发明的实验装置的正视图 ;

[0022] 图 2 是本发明的实验装置的俯视图 ;

[0023] 图 3 是本发明的实验装置的游标卡尺部分的局部放大图。

[0024] 图中 :1—基体 ;2—圆口夹具 ;3—内六角圆柱螺钉 ;4—金刚石工具 ;5—六角螺母 ;6—平垫圈 ;7—主轴连接杆 ;8—弹簧 ;9—下 T 形滑块 ;10—上 T 形滑块 ;11—轴向螺旋测微仪 ;12—内六角圆柱螺钉 ;13—内六角圆柱螺钉 ;14—内六角圆柱螺钉 ;15—径向螺旋测微仪。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图对本发明的实施例做详细的说明,以下给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。以下的说明本质上仅仅是示例性的而并不是为了限制本公开、应用或用途。应当理解的是,在全部附图中,对应的附图标记表示相同或对应的部件和特征。

[0026] 如图 1 和图 2 所示:本实施例包括:基体 1、上 T 形滑块 10、下 T 形滑块 9、金刚石工具 4、轴向螺旋测微仪 11、径向螺旋测微仪 15、圆口夹具 2。为了便于描述,对装置上互差 120° 分布的相同结构或组件进行顺序标号定义:如图 2 所示,把装置上的某一部分定义为 A,按顺时针方向转动,分别定义 B 和 C。如金刚石工具 4A、金刚石工具 4B、金刚石工具 4C。

[0027] 基体 1 与机床主轴连接杆 7 连接,并通过防松平垫圈 6 和六角螺母 5 固定,基体 1 的轴线与机床主轴连接杆 7 的轴线高度重合。其中,基体 1 上的结构互差 120° 分布,其上开有通槽,通槽顶面和底面的两侧有对称分布的直线滑轨,用于上 T 形滑块 10 和下 T 形滑块 9 的运动;通槽内侧(靠近轴心)开有用于安装弹簧 8 的盲孔,弹簧 8 的另一端与下 T 形滑块 9 上的凹槽相连接,构成微小的反向预紧力,用于平衡径向螺旋测微仪 15 的作用力;通槽外侧(远离轴心)开有用于安装径向螺旋测微仪 15 的螺纹孔和光孔;光孔外侧为一平面,用于定位径向螺旋测微仪 15;基体 1 中心孔位置顶部设有凸孔,底部设有阶梯孔;在设计装置结构时,考虑到该装置高速回转产生的巨大离心力作用,确保其在离心力作用下安全可靠运行,本发明对基体 1 采用轻量化的结构设计,挖空基体上非工作部分,如圆周侧面上下凹槽部分和互差 120° 分布的扇形槽部分;基体 1 顶面靠近通槽部分标有刻度,与上 T 形滑块 10 上的刻度相对应。

[0028] 上 T 形滑块 10 和下 T 形滑块 9 相对设置于基体的通槽中,通过内六角圆柱螺钉 12 连接。其中,上 T 形滑块 10 中心部位开有通孔,用于与轴向螺旋测微仪 15 配合使用;上 T 形滑块 10 上表面部分标有刻度,与基体 1 顶面上的刻度相对应,构成简单的游标卡尺,由游标卡尺原理可知,金刚石工具 4 在径向位置的调节精度可达 $12.5 \mu\text{m}$;上 T 形滑块 10 在基体 1 上的运动可满足平滑移动,无爬行现象产生。下 T 形滑块 9 中心开有阶梯通孔,上阶梯孔用于与轴向螺旋测微仪 11 配合使用,下阶梯孔用于与金刚石工具 4 高精度间隙配合使用;其左侧开有凹槽,用于与弹簧 8 配合使用;其右侧开有螺纹阶梯孔,用于安装紧定螺钉 14 来固定金刚石工具 4。此外,上 T 形滑块 10 和下 T 形滑块 9 构成一个滑块组,该滑块组在基体 1 上沿径向的滑动距离可达 2mm,足以用来表征砂轮上磨粒与磨粒之间的径向间距。

[0029] 若需要研究单颗磨粒磨削试验对表面形成机理和材料去除机理的影响,即三个金刚石工具中只有一个进行磨削,其余两个只起平衡作用;若需要研究双颗磨粒在磨削过程中对表面形成机理和材料去除机理的影响,即第三个金刚石工具起平衡作用,此时可以通过调节轴向螺旋测微仪 11 来精确控制金刚石工具 4 在轴向的相对位置,即可获得金刚石工

具 4A 和与之互差 120° 分布的金刚石工具 4B 之间的轴向间距,通过径向螺旋测微仪 15 的作用和弹簧 8 的反方向作用来平稳推动相互连接的上 T 形滑块 10、下 T 形滑块 9 及金刚石工具 4 整体在基体 1 通槽中滑动,精确调整金刚石工具 4 在径向的相对位置,即可获得金刚石工具 4A 和金刚石工具 4B 之间的径向间距;同理,研究多颗磨粒在磨削过程中对表面形成机理和材料去除机理的影响类似双颗磨粒的情况。

[0030] 金刚石工具 4 与下 T 形滑块 9 精密间隙配合,通过内六角圆柱螺钉 14 紧固。其中,金刚石工具 4 在基体 1 上的布置采用同心圆布置方法,可以解决因磨粒过小 ($50\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$) 而不能靠近安装的难题,而且可以自由调节金刚石工具 4A 和金刚石工具 4B 之间的径向间距和轴向间距;考虑到试验中金刚石工具 4 的更换问题,为提高效率,该装置能方便地实现单颗磨粒的快装快卸功能;可以通过旋转金刚石工具 4 在下 T 形滑块 9 的位置,来选择金刚石工具 4 在磨削过程中的切入角;通过选择金刚石工具 4 上的磨粒数来实现更多磨粒磨削试验。

[0031] 圆口夹具 2 放置于基体 1 上,毗邻上 T 形滑块 10。其中,圆口夹具 2 与基体 1 的相对位置固定不变,当上 T 形滑块 10 和下 T 形滑块 9 及金刚石工具 4 这个整体在通槽上移动后,轴向螺旋测微仪 11 的位置也需要随之变动,此时圆口夹具 2 可以实现轴向螺旋测微仪 11 的弹性制装夹。

[0032] 轴向螺旋测微仪 11 (分辨率为 $1\ \mu\text{m}$) 贯穿于圆口夹具 2,其上的一个端面置于上 T 形滑块 10 上,通过互差 120° 分布的三个内六角圆柱螺钉 13 夹紧,用于精密调节金刚石工具 4 在轴向的相对位置;径向螺旋测微仪 15 (分辨率为 $10\ \mu\text{m}$) 互差 120° 分布在基体 1 上,由自身螺纹与基体 1 连接,通过调节径向螺旋测微仪 15 上的微调旋钮,使测微螺杆与上 T 形滑块 10 接触并产生作用力,推动相互连接的上 T 形滑块 10、下 T 形滑块 9 及金刚石工具 4 整体在基体 1 通槽中滑动,从而调节金刚石工具 4 在径向的相对位置。为了保证轴向螺旋测微仪 11 随 T 形滑块在基体 1 上沿径向的位置变动而变动,圆口夹具 2 的通孔为轴向螺旋测微仪 11 留有 2mm 的移动空间。当金刚石工具 4 在获得了精确的磨粒轴向间距和磨粒径向间距后,将轴向螺旋测微仪 11 和圆口夹具 2 从基体 1 上卸下。

[0033] 本实施例在湖南大学国家高效磨削工程中心的精密数控坐标磨床 MK2945C 上完成,加工对象为 BK7 光学玻璃,金刚石工具 4 选用维氏压头 V-2。由于单颗磨粒磨削试验过程比较简单,基本无需对金刚石工具进行过多的调整,而且部分操作步骤类似于双颗磨粒磨削试验,同理,多颗磨粒磨削操作步骤亦类似于双颗磨粒磨削试验。

[0034] 因此,本实施例选择双颗磨粒磨削试验进行讲解,具体试验步骤如下:

[0035] (1) 将测力仪固定在机床工作台上,真空吸盘固定于测力仪上,BK7 光学玻璃放置于真空吸盘上并开启真空泵吸紧,双颗磨粒磨削试验之前对工件表面进行精密磨削,以保证工件具有一定的平面度,其表面粗糙度 $R_a \leq 0.3\ \mu\text{m}$,并用丙酮清洗磨削后的工件表面;

[0036] (2) 将基体 1 与主轴连接杆 7 相连,套上垫圈 6,锁紧六角螺母 5,并将主轴连接杆 7 安装在机床主轴上;

[0037] (3) 将弹簧 8 放入基体 1 的对应位置;将上 T 形滑块 10 和下 T 形滑块 9 放入基体 1 的通槽中,并用内六角圆柱螺钉 12 连接,同时保证弹簧 8 与下 T 形滑块 9 上的凹槽相配合;

[0038] (4) 将径向螺旋测微仪 15 通过螺纹连接于基体 1 上,把金刚石工具 4 装入到下 T

形滑块 9 中,调节径向螺旋测微仪 15A 和径向螺旋测微仪 15B,设置磨粒初始径向间距 L_0 ,初始径向间距 L_0 的值尽量偏大,以保证两颗磨粒磨削后的沟槽不产生干涉,该初始径向间距 L_0 通过基体 1 和上 T 形滑块 10 构成的游标卡尺上的刻度值来表示;

[0039] (5) 设置好初始径向间距 L_0 后,拧紧内六角圆柱螺钉 12,将上 T 形滑块 10 和下 T 形滑块 9 固定于基体 1 的通槽中;

[0040] (6) 将圆口夹具 2 放置于基体 1 上,并用内六角圆柱螺钉 3 锁紧;

[0041] (7) 将轴向螺旋测微仪 11 贯穿于圆口夹具 2、上 T 形滑块 10 和下 T 形滑块 9,锁紧内六角圆柱螺钉 13;通过目测,调节轴向螺旋测微仪 11 使得金刚石工具 4A 和金刚石工具 4B 在轴向方向的距离尽量靠近(以金刚石工具 4A 顶尖的磨粒为参考点),使得金刚石工具 4A 和金刚石工具 4B 都能够在 BK7 光学玻璃表面留下沟槽,此时金刚石工具 4A 和金刚石工具 4B 存在一个轴向间距,用 D_0 表示,金刚石工具 4C 滞空;

[0042] (8) 金刚石工具 4A 和金刚石工具 4B 所需的轴向间距的表征方法如下:在步骤 (7) 之后,将圆口夹具 2 和轴向螺旋测微仪 11 从基体 1 上卸下,调节内六角圆柱螺钉 14 锁紧金刚石工具 4,然后进行双颗磨粒预磨削试验,得到与金刚石工具 4A 和金刚石工具 4B 相对应的两个沟槽,分别表示为沟槽 a 和沟槽 b,将工件至于显微镜下测量沟槽 a 和沟槽 b 的深度,得到一初始深度差值 ΔD ,该初始深度差值 D_{01} 即为初调轴向螺旋测微仪 11 后得到的金刚石工具 4A 和金刚石工具 4B 的初始轴向间距 D_0 ;

[0043] (9) 在初始轴向间距 D_0 的情况下,将圆口夹具 2 和轴向螺旋测微仪 11 重新安装到基体 1 上,调节轴向螺旋测微仪 11 设置金刚石工具 4A 和金刚石工具 4B 的轴向间距 D_1 。从理论上分析,砂轮表面同一深度上的微刃数量越多、等高性越好,将有利于材料高效去除及表面质量改善;然而,砂轮实际磨削过程中其表面磨粒分布杂乱无章,其磨粒等高性难以保证,而且分布在砂轮表层的微刃一般由砂轮精细修整而成。因此,可以通过研究磨粒与磨粒之间轴向间距 D_1 的变化对磨削机理的影响规律,从而为超硬磨料砂轮地貌的设计与制造及磨削过程中的砂轮修整提供可靠依据。调节完毕后,锁紧内六角圆柱螺钉 14;

[0044] (10) 在获得了精确的磨粒轴向间距 D_1 后,再设置所需的磨粒径向间距 L_1 ;将圆口夹具 2 和轴向螺旋测微仪 11 从基体 1 上卸下,拧松内六角圆柱螺钉 12,调节径向螺旋测微仪 15A 和径向螺旋测微仪 15B 设置所需的磨粒径向间距 L_1 ,设置完成后,拧紧内六角圆柱螺钉 12;

[0045] (11) 至此,在获得了精确的磨粒轴向间距 D_1 和磨粒径向间距 L_1 后,整个试验装置调节完毕;

[0046] (12) 设置磨削参数,试验过程中可控制的工艺参数包括:主轴转速 n (4500r/min—20000r/min)、工作台进给速度 V_w (30mm/min—5000mm/min)、磨削深度 a_p (调节分辨率为 $0.1\mu\text{m}$);通过设置不同的磨削工艺参数,采用正交实验法进行深入系统的试验研究;

[0047] (13) 启动数控坐标磨床 MK2945C,装置在机床主轴的作用下高速旋转,金刚石工具 4 以立轴磨削的磨削方式在待测 K9 光学玻璃表面进行磨削加工,从而在一次试验中产生两条呈同心圆分布的圆弧沟槽;在同一参数条件下,调节工作台在 XY 面内的位置,重复两次;

[0048] (14) 若要研究不同的磨粒径向间距 $L_2\cdots L_n$ 和磨粒轴向间距 $D_2\cdots D_n$ 对表面形成机理和材料去除机理的影响,返回步骤 (9);记录好每次试验完成后磨粒径向间距 L_n 和磨粒

轴向间距 D_n , 以备作为下次试验的初始值 L_0 和 D_0 , 避免了步骤 (4) — (8) 的多次重复;

[0049] (15) 采集磨削过程中的磨削力, 处理分析数据;

[0050] (16) 磨削试验完毕后, 收集磨屑, 并用超景深显微镜和扫描电子显微镜观察分析磨屑形态;

[0051] (17) 为了便于观察沟槽形貌, 将磨削后的 BK7 光学玻璃放入超声波清洗机中用丙酮清洗, 接着将清洗完的样件置于 65% 的浓磷酸中腐蚀 17 小时, 将样件清洗干净, 最后将烘干的试件放在超景深显微镜和扫描电子显微镜下观测沟槽表面形貌及表面裂纹;

[0052] (18) 为了便于观察磨削过程中产生的亚表面裂纹, 对磨削后的 BK7 光学玻璃在 Nanopoli-100 型纳米抛光机进行研磨抛光, 将抛光后的 BK7 光学玻璃与 (17) 做相似的处理, 观测亚表面裂纹形态及亚表面裂纹深度。

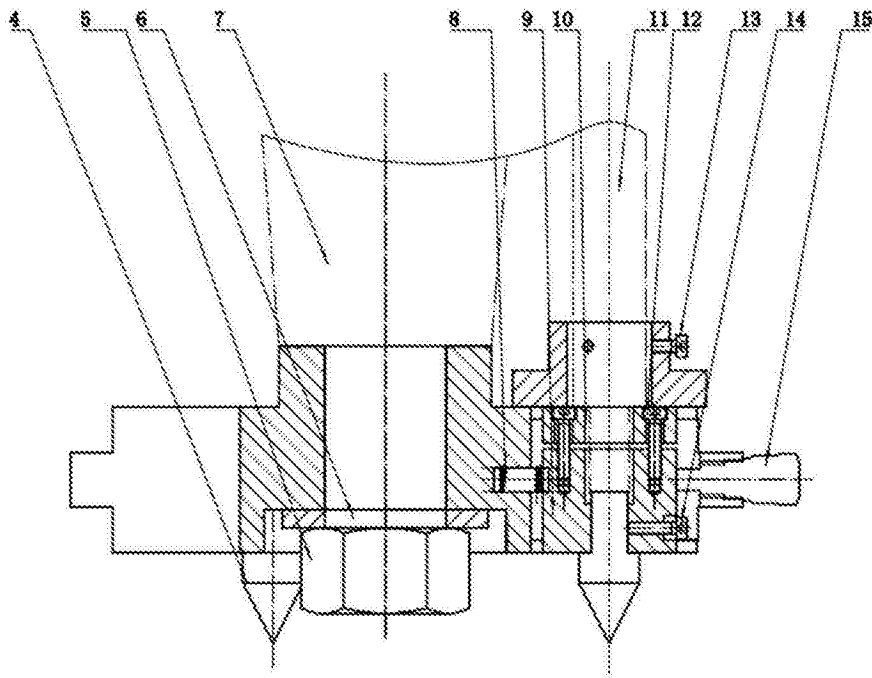


图 1

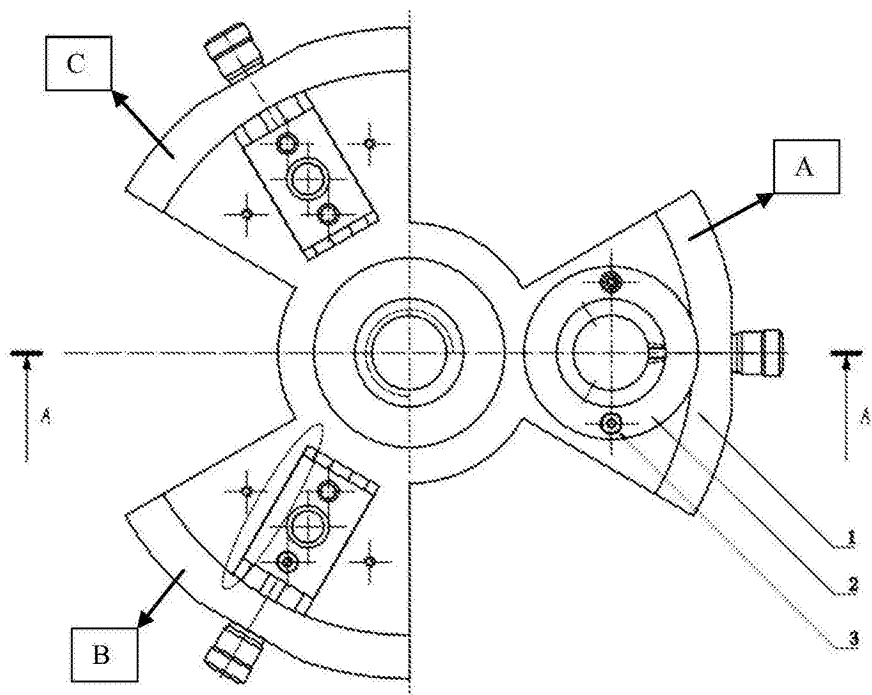


图 2

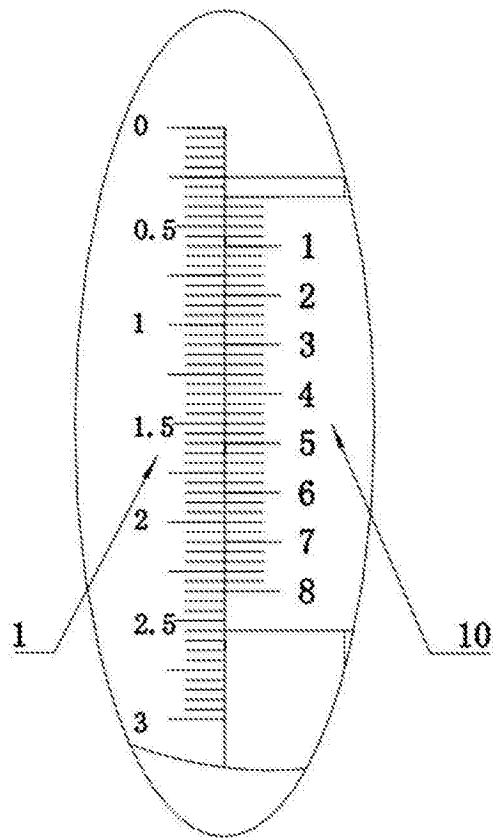


图 3