

# 基于声发射的单晶材料微磨削特征信号感知分析

闫 辉

(河南经济贸易技师学院,机械工程系,河南省新乡市,453000)

**摘要** 单晶材料的表面加工是制备半导体材料的关键,为了进一步提高加工材料表面质量评估能力,设计了一种基于声发射的单晶材料微磨削特征信号感知方法。开展实验测试信号分析,研究结果表明:微磨削作用下材料损失量表现为先上升后稳定状态变化趋势。增大磨削深度后,微磨具直径损失能量占比相关系数得到提高,微槽崩边能量占比相关系数降低。该研究可拓宽到其他的高端材料的机加工领域,具有很好的使用价值。

**关键词** 微磨削;非稳态特征;声发射;信号感知

中图分类号:TG580 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)12-0011-03

随着半导体材料在工业与信息领域的广泛应用,镍基材料的制备工艺也得到了迅速发展,在芯片工艺、镍基电池和电路系统等领域都具有重要应用价值<sup>[1]</sup>。

声发射检测技术可以精确地辨识磨削过程中的非稳定信号特征,属于微小磨削加工过程中具备极大潜力的动态检测技术<sup>[2]</sup>,在微磨削特征信号感知方面具有重要的应用。赵华东等<sup>[3]</sup>通过模态分解和相关性处理声发射信号,利用支持向量机对磨削接触状态进行识别,所提方法对滚轮的磨削接触状态识别准确率达到98.3%,准确实现了对磨削接触状态的识别。张月霞等<sup>[4]</sup>建立声发射信号监测系统并提取出特征参数,分析信号时域均方根谱与频带信号能量的关系,形成较大微槽锥度角。

针对现有研究在微细磨削特性辨识方面的不足,本文通过分析超声微磨削中声发射(AE)信号与非稳定参量的关系,提出了一种基于AE信号的镍基单晶微细磨削非稳态特性检测方法。该方法为实现加工过程精准监控提供了新思路,为提升超声加工控制精度奠定了理论依据。

## 1 实验方案

针对MK2945c磨床设置了HTS1501S-BT40空

作者简介:闫辉(1980~),男,河南新乡人,本科,高级教师,研究方向:数控铣床加工。

气动力主轴。选择用直径 $\phi 0.5$  mm的研磨头和600#粒度的金刚砂刀进行微细研磨,再对粗糙度0.5 nm以及尺寸为 $15 \times 10^3$  mm<sup>3</sup>的单晶材料样品进行了加工测试,磨削参数选取见表1所示。

表1 磨削参数选取

磨削深度 $a_p/\mu\text{m}$	进给率 $v_w/(\text{mm}/\text{min})$	主轴转速 $n/(\text{r}/\text{min})$
50;100;150;200	1	60 000

采用机械视觉技术,实时监控各级微细磨削头直径。本系统的配置包括固定放大率透镜(WWK40-100-111),高分辨摄像机A3B00 MG000、背光板、图像处理系统、支撑架构等。声发射检测装置包括高灵敏共振型声发射器、数据采集器、放大器共同组成。按照设置流程获取声发射信号,保持2 MHz的取样声发射讯号,控制放大增益40 dB。

本实验将测试过程分为两个阶段:将抛光材料按照不同的摩擦类型进行分级,并利用1 mm间隙的微小沟槽设置一系列阵列来描述抛光材料损伤程度,所有微小沟槽排列均采用新型微细研磨工具进行研磨处理。

对各微小沟槽进行机械视觉检测,并计算5个取样点采集结果的平均值,以此作为尺寸基准。根据实验结果分析不同的研磨深度条件下引起的微磨料磨损、崩边、锥度各项参数变化结果。

## 2 结果分析

### 2.1 非稳态特征

本研究提出了一种基于非稳定特征的单晶微

槽阵列微细磨削加工方法,通过采集每个磨削深度的AE信号来获取微槽线直径损耗、崩边宽度和锥面角度等数据。在磨削加工过程中,磨粒不断累积,在磨料颗粒和侧壁面之间形成了较大摩擦作用,从而使微细通道的锥度也随之增大,这也在一定程度上减弱了摩擦作用,减少了低频波段的能量。

图1测试结果表明,随着物料去除率的增加,所产生的粒径尺寸也发生了明显减小,从取样范围可以看出,总体上表现出先升高后趋于平稳的趋势。控制不同的研磨深度条件下,所产生的磨粒直径损耗也存在差异。当微磨粒受到挤压变形和磨粒附着的影响后,其直径损耗呈不断减小的趋势,并呈现负增长的特点。当研磨深度达到100  $\mu\text{m}$ 时,位于第4和第5段的磨粒直径发生了减小的现象,形成了之前微磨料磨损的情况。

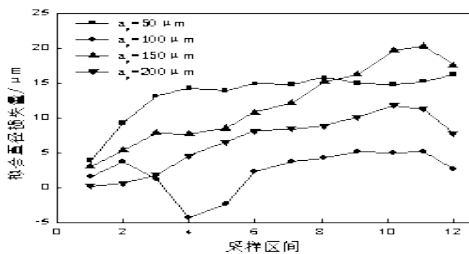


图1 拟合直径损失量分布

从图2中可以看出,微小凹槽崩痕宽度与物料移除不存在直接对应关系。由于磨粒形状、裂纹尺寸、扩展方向以及振动参数等都会对结果产生影响,从而导致崩刃发生宽度的明显变化。当研磨厚度尺寸从50  $\mu\text{m}$ 增加到200  $\mu\text{m}$ 时,在同一取样区域内没有检测到任何特征参数,部分区域出现大尺度的裂纹。在1~3和10~12取样区域中,当研磨深度为150  $\mu\text{m}$ 时,所产生的最大崩边宽度超过200  $\mu\text{m}$ 。

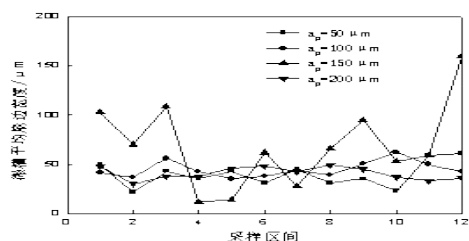


图2 微槽平均崩边宽度分布

### 2.2 磨削深度对相关系数影响

图3是对频带能占比率在各种研磨深度下的不稳定特性间关联因子计算所得的结果。通过分析可知,随着研磨深度的增加,微磨具的束缚作用明

显增强,磨损程度开始降低,提高了磨粒的尺寸损耗,并增加了中间频段的能量占比。随着研磨深度的增加,微切口的崩边宽度与高频波段的能量比例相关性呈现减小的变化趋势。

在磨削加工过程中,磨粒不断累积,在磨料颗粒和侧壁面之间形成了较大摩擦作用,从而使微细通道的锥度也随之增大,这也在一定程度上减弱了摩擦作用,减少了低频波段的能量。

此外,还可以根据低相关性条件判定微小沟坎产生的各种复杂变化原因。微通道坍塌的主要原因是高频区裂纹扩展和结构破碎等多种因素的共同作用,而中低频段的机械振动和磨粒的磨损则是主要原因。

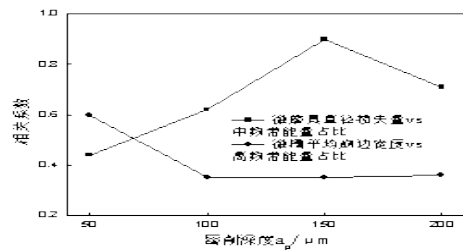


图3 不同磨削深度下相关系数统计

### 3 结语

本文开展基于声发射的单晶材料微磨削特征信号感知分析,取得如下有益结果:增大材料去除量后,形成了更大的直径损失量,总体表现为先上升之后达到一个稳定状态的变化趋势。增大磨削深度后,提升了微磨具直径损失能量占比相关系数,微槽崩边能量占比相关系数降低。

#### 参考文献

- [1] 李辉,高峰,李艳.硬质合金钻头绿色钻削镍基高温合金的试验研究[J].机械强度,2023,45(01):76-83.
- [2] 王卿,史永刚,张华,等.镍基高温合金GH4169内孔超声波椭圆振动镗削实验[J].机械设计与研究,2021,37(01):129-133+138.
- [3] 赵华东,刘勇,朱振伟,等.金刚石砂轮与金刚石滚轮磨削接触的声发射监测[J].机械设计与制造,2024(02):174-178.
- [4] 张月霞,屈莹莹,李峰.基于声发射监测的工业高端材料微磨削特征信号感知实验[J].制造技术与机床,2023(08):13-18.
- [5] 史尧臣,刘红岩,张学忱,等.基于声发射和振动信号的振动钻削钻头故障诊断试验研究[J].机床与液压,2020,48(10):197-200.