安徽省科学技术奖提名项目公示内容

(自然科学奖, 2024 年度)

一、项目名称

精密加工刀具磨损在线监测理论与寿命预测方法

二、提名者及提名意见

提名者: 中国科学院合肥物质科学研究院

提名意见: (600 字以内)

该项目面向航空航天极端工况下制造质量可靠性与一致性的核心挑战, 围绕精密铣削刀具磨损物理机制、在线监测原理与方法、剩余寿命精确调控等基础科学问题, 团队开展了大量基础理论和实验研究, 取得了突破性、系统性理论创新成果:

(1) 发现了刀具刃口磨损演化的微观机理与主导机制, 建立了刃口钝化、界面热积累和三体磨损等关键因素的物理驱动解析模型。揭示了磨损对铣削力的动态调制机制, 据此构建磨损-力场耦合模型, 阐明参数工程敏感性规律, 并提出基于初始磨损的全寿命映射方法, 明确了磨损成因与临界失效阈值, 为寿命预测与工艺优化提供理论支撑。

(2) 揭示了磨损指数控制参数与加工工况的内在耦合规律, 构建了跨尺度刀具磨损建模体系及工况自适应寿命预测理论与模型。提出了高可靠加工智能补偿控制机制, 建立了具可迁移性与可解释性的磨损参数物理映射体系, 突破了模型泛化性瓶颈。

(3) 发现了刀具磨损面积与刀具状态的强相关特性, 据此提出磨损评估新准则。创新融合形态成分分析与区域生长算法, 提出视觉-多变量融合的刀具状态监测新理论。揭示刀具磨损强表征的深度特征原理, 突破传统模型依赖人工特征的局限。

经研究, “精密加工刀具磨损在线监测理论与寿命预测方法”项目符合安徽省自然科学奖提名条件, 同意提名该项目作为 2024 年安徽省自然科学奖候选项目。

三、项目简介

面向国家航空航天精密制造技术与装备的重大需求, 在国家重点研发计划、自然科学基金等支持下, 项目聚焦精密制造中刀具磨损在线监测与寿命预测核心挑战, 系统研究其物理机制、在线监测理论与寿命调控方法。揭示了磨损多场耦合机制, 提升了监测模型泛化性与精度, 构建了智能补偿体系, 旨在突破复杂构件高精度制造瓶颈、解决核心部件可靠性与一致性难题, 为破解“卡脖子”加工难题提供源头创新支撑。取得的重要科学发现包括:

(1) 发现了刀具刃口磨损演化的微观机理与主导机制，首次建立了刃口钝化、界面热积累和三体磨损等关键因素的物理驱动解析模型。揭示了磨损对铣削力的动态调制机制，据此构建磨损-力场耦合模型，阐明参数工程敏感性规律，并提出基于初始磨损的全寿命映射方法，明确了磨损成因与临界失效阈值，为寿命预测与工艺优化提供理论支撑。

(2) 发现了磨损指数控制参数与加工工况之间的内在耦合规律，构建了跨尺度刀具磨损建模体系与工况自适应寿命预测理论与模型，提出了面向高可靠加工的智能补偿控制机制，建立了具有可迁移性与可解释性的磨损参数物理映射体系，突破模型泛化性瓶颈。

(3) 发现了刀具磨损面积与刀具状态的强相关特性，提出基于刀具磨损面积的新准则，创新性地融合形态成分分析与区域生长算法，提出视觉-多变量融合的刀具磨损状态监测新理论。发现了刀具磨损状态强表征的深度特征原理，突破了传统人工特征的局限性，阐明了其对频带能量特征的敏感性机理、以及特征表征性能随模型深度变化的平衡规律。

研究成果得到了领域专家高度评价，5 篇代表性论文总引 500 余次，引文作者包括 45 个国家 500 多个单位的学者，其中 50 余位国内外院士、IEEE Fellow、CIRP Fellow 等；论文获得期刊年度最佳论文奖。项目主要完成人入选爱思唯尔/科睿唯安全球高倍引学者，担任 Nature 子刊、IEEE Transactions 等期刊副主编/编委 12 次，国际会议大会主席、大会/特邀报告 20 余次，应邀在知名期刊 JMPT 组织“先进制造中的人工智能”专题，在国内外学术领域产生了广泛影响。项目创新成果成功应用于我国首台空间站天和核心舱“无容器材料实验腔体子系统”、大型运载火箭贮箱及米级精密陀螺的高性能制造，为重大战略装备的性能跨越提供了核心支撑。

四、代表性论文专著目录

序号	论文（专著） 名称/刊名 /作者	年卷页 码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表 时间 年月 日	通讯作 者（含 共同）	第一作 者（含 共同）	国内作者	论文署 名单位 是否包 含国外 单位
1	A generic tool wear model and its application to force modeling and wear monitoring in high speed milling / Mechanical Systems and Signal Processing / Kunpeng Zhu, Yu Zhang	2019 年 115 卷 147-161 页	2019. 01.15	朱锟鹏	朱锟鹏	朱锟鹏, 张宇	否

2	The monitoring of micro milling tool wear conditions by wear area estimation / Mechanical Systems and Signal Processing / Kunpeng Zhu, Xiaolong Yu	2017 年 93 卷 90-91 页	2017. 09.01	朱锟鹏	朱锟鹏	朱锟鹏, 余小龙	否
3	A machine vision system for micro-milling tool condition monitoring / Precision engineering / Yiquan Dai, Kunpeng Zhu	2018 年 52 卷 183-191 页	2018. 08.01	朱锟鹏	戴宜全	戴宜全, 朱锟鹏	否
4	Tool wear estimation and life prognostics in milling: Model extension and generalization / Mechanical Systems and Signal Processing / Yu Zhang, Kunpeng Zhu, Xianyin Duan, Si Li	2021 年 155 卷 1-19 页	2021. 06.16	朱锟鹏	张宇	张宇, 朱 锟鹏, 段 现银, 李 斯	否
5	基于深度学习的高速铣削刀具磨损状态预测方法 / 机械与电子 / 林杨, 高思煜, 刘同舜, 朱锟鹏	2017 年 7 卷 12-17 页	2017. 07.24	朱锟鹏	林杨	林杨, 高 思煜, 刘 同舜, 朱 锟鹏	否

五、主要完成人（按完成人顺序排列）

朱锟鹏, 张宇, 李斯, 段现银

六、主要完成单位（按完成单位顺序排列）

中国科学院合肥物质科学研究院, 武汉科技大学

七、论证专家

姓名	工作单位	职称	专业领域
陈雪峰	西安交通大学	教授	机械工程
朱利民	上海交通大学	教授	机械工程
朱海红	华中科技大学	教授	机械工程
陈新元	武汉科技大学	教授	机械工程
严如强	西安交通大学	教授	机械工程