**2024年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖励推荐项目公示内容**

**一、成果名称：**

滑动基础部件摩擦自适应复合界面构建与调控机制研究

**二、完成单位排序：**

1西安工业大学；2武汉理工大学

**三、成果类型：**基础研究、应用基础研究

**四、成果简介：**

本成果属于机械学科，涉及工程摩擦学、机械设计以及界面科学等多学科交叉领域。

**成果的主要技术内容：**

本成果面向高端装备精密机械基础运动部件对增强摩擦学性能的迫切需求，以提升润滑性能与有效服役寿命为目标，采用增材制造、微纳加工、高温熔渗及表面改性等技术构建新型摩擦界面结构，重点解决关键滑动基础零部件复杂工况下润滑适应性、性能稳定性及摩擦行为可调控性等瓶颈问题，可为精密轴承、机床导轨、密封环块等核心基础部件的研发与制造提供理论支撑及技术保障。成果主要技术内容包括：

（1）宽温域/载荷范围内复合润滑剂设计方法；

（2）摩擦自适应界面结构设计及可控制备技术；

（3）复合润滑结构形成过程演化规律；

（4）宽温域/载荷范围摩擦自适应调控机制。

**成果的主要创新点：**

（1）提出了宽温域/载荷范围摩擦自适应复合摩擦界面结构。目前金属基摩擦界面存在形成润滑层不完整、减摩性能不足、工况自适应能力差等局限性。本成果提出新型复合摩擦界面结构，可实现宽温域/载荷范围减摩耐磨性能的自适应调控，为金属部件表面摩擦结构设计提供了一种新思路。

（2）建立了宽温域/载荷范围摩擦行为自适应调控方法。基于热力耦合自适应扩散的复合固体润滑剂设计准则，构建了复杂工况摩擦润滑行为自适应调控方法，突破了复合润滑剂释放行为可控的关键技术瓶颈，实现了宽温域/大载荷摩擦行为自适应调控，增强机械精密运动部件有效服役寿命。

 **成果的推广应用情况：**

本成果构建了滑动基础部件复杂工况下摩擦自适应调控体系，为提升精密轴承、机床导轨、密封环块等核心部件服役寿命与可靠性提供了理论储备与技术支持。本成果已成功在西安杰之航机械电子科技有限公司得到推广应用，后续还将继续与相关企业合作，共同拓宽成果的应用范围及深度。

1. **科学意义和科学价值：**

随着我国产业升级的发展，航空航天、地面交通运输、能源等不同工业领域对摩擦学技术提出了大量的迫切需求，尤其在航空发动机、高速列车、超精密机床等尖端机械装备中，精密轴承、齿轮、密封件等基础摩擦部件运行环境向高温、重载等复杂工况发展，如何构建工况环境自适应的减摩抗磨结构及揭示其内在调控机理已成为突破高端制造技术瓶颈要解决的核心问题。项目提出一种复杂工况自适应软硬复合界面结构，建立了复合固体润滑剂的设计方法，获得了复合界面的可控制备方法，阐明了复合界面对摩擦性能的影响规律，揭示了复杂工况下摩擦自适应调控机制。该成果推动了复杂工况下机械部件摩擦结构设计方法研究，有望从根本上解决基础摩擦部件摩擦性能不足的难题，增强我国高端装备服役可靠性。

**六、客观评价：**

本成果在《Tribology International》、《Surface and Coatings Technology》、《Journal of Materials Research and Technology》等期刊上共发表SCI/EI论文17篇，其中8篇代表作被引用总计173次，他引 98次，得到了国内外同行专家的积极评价和正面肯定。其中，俄罗斯科学院Aleutdinova教授、伊朗科技大学Abedi、吉林大学学者Yang Hong-Yu、等在国际知名期刊发表的论文中，对本成果进行了引用，认为该成果对推动摩擦结构设计理论及方法研究具有重要意义。

**七、主要论文专著目录和主要知识产权证明目录：**

**论文目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **论文名称** | **刊名/出版社** | **发表时间** | **论文作者** |
| 1 | The influence mechanism of MoS2 and NiTi microparticles on the friction and wear properties of bearing steel | Tribology International | 2021-04-01 | **刘锡尧\***, 董皓, 卢志伟, 张君安, 刘波 |
| 2 | Tribological behavior of the wear-resistant and self-lubrication integrated interface structure with ordered micro-pits | Surface and Coatings Technology | 2022-12-26 | **刘锡尧\***, 郭增飞, 卢志伟**\***, 秦乐佳 |
| 3 | Tribological behavior and self-healing functionality of M50 material covered with surface micropores filled with Sn-Ag-Cu | Tribology International | 2018-08-02 | **刘锡尧**, 史晓亮**\***, 黄玉春, 邓骁斌, 卢冠辰, 闫昭, 薛冰 |
| 4 | The self-lubricating behavior and evolution mechanisms of the surface microporous friction interface of M50-(Sn-Ag-Cu) material | Journal of Materials Research and Technology | 2020-06-08 | **刘锡尧\***, 卢志伟**\***, 张君安, 曹岩, 千学明 |
| 5 | Study on self-adaptive lubrication mechanism of surface micro-dimple structure filled with multiple lubricants | Journal of Alloys and Compounds | 2020-12-25 | **刘锡尧\***, 卢志伟, 董皓\*, 曹岩, 杨海如 |
| 6 | Anti-friction and wear properties of the friction surface of M50-10 wt.%(50Sn40Ag10Cu) composite | Journal of Alloys and Compounds | 2018-06-19 | **刘锡尧**, 史晓亮\*, 黄玉春, 邓骁斌, 闫昭, 薛冰 |
| 7 | The synergistic lubricating mechanism of Sn-Ag-Cu and C60 on the worn surface of M50 self-lubricating material at elevated loads | Journal of Alloys and Compounds | 2018-11-03 | **刘锡尧**, 史晓亮\*, 卢冠辰, 邓骁斌, 周宏胭, 闫昭, 陈远, 薛冰 |
| 8 | 表面微坑复合MoS2镍基涂层及摩擦磨损性能研究 | 表面技术 | 2022-07-07 | 李宾,**刘锡尧\***, 张君安, 刘波, 卢志伟 |

**专著目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **出版时间** | **著作名称** | **作者** | **出版单位** |
|  |  |  |  |  |

**知识产权目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **授权项目名称** | **知识产权类别** | **国（区）别** | **授权号** |
| 1 | 一种智能驱动的M50基自润滑材料及其制备方法 | 发明专利 | 中国 | ZL202010226718.8 |
| 2 | 一种M50基轴承自润滑材料及其制备方法 | 发明专利 | 中国 | ZL202010169041.9 |

**八、主要完成人员情况：**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **排 名** | **职务/职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对项目的主要学术和技术创造性贡献** |
| 刘锡尧 | 1 | 副教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 项目总体研究方案的制定者，提出了复杂工况下摩擦自适应界面结构。 |
| 卢志伟 | 2 | 副教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 项目实施的主要成员，构建了固体润滑剂的设计方法。 |
| 史晓亮 | 3 | 教授 | 武汉理工大学 | 武汉理工大学 | 项目实施的关键成员，提出了复合润滑剂SnAgCu。 |
| 张君安 | 4 | 教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 项目实施的主要成员，阐明了摩擦界面演化机制 |
| 董皓 | 5 | 教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 项目实施的主要成员，建立复杂工况下摩擦调控模型 |
| 李宾 | 6 | 硕士生 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 项目实施的主要成员，阐明了复合界面不同工况下的摩擦性能变化规律。 |

**九、完成人及完成单位合作关系说明：**

（简要叙述完成人（完成单位）在项目中的合作经历，包括合作时间、方式、产出及证明材料等。）

刘锡尧，副教授，工作单位西安工业大学，完成单位西安工业大学。项目的负责人，论文1-7的第一作者，论文8的通讯作者，专利1-2的第一发明人。

卢志伟，副教授，工作单位西安工业大学，完成单位西安工业大学。项目的主要完成人，论文2、4的共同通讯作者，论文1、5、8的主要作者，专利1-2的第二发明人。

史晓亮，教授，工作单位武汉理工大学，完成单位武汉理工大学。项目的主要完成人，与项目负责人共同制定实施方案。论文3、6、7的通讯作者。

张君安，教授，工作单位西安工业大学，完成单位西安工业大学。项目的主要完成人，论文1、4、8的主要作者。

董皓，教授，工作单位西安工业大学，完成单位西安工业大学。项目的主要完成人，论文5的共同通讯作者，论文1的主要作者。

李宾，硕士生，工作单位西安工业大学，完成单位西安工业大学。项目的主要完成人，论文8的第一作者。