

瞄准金属材料发展前沿 打造世界一流科研平台

——走进新金属材料国家重点实验室

Aiming at Frontier of Metallic Materials Development and Building a World-class
Research Platform

[编者按] 北京科技大学新金属材料国家重点实验室立足于金属材料发展的国际前沿、国民经济和国家安全对金属材料的重大需求,着眼于材料科学与工程四要素关系的核心问题,从科学规律、制备技术、计算模拟与设计、服役评价和试验技术五大方面开展以新金属材料研发和传统材料升级换代为目的的基础和应用基础研究,提供全面系统的规律性认识和新材料及其相关技术的原型,推动研究成果转化,促进工程化应用。

新金属材料国家重点实验室依托于北京科技大学,是我国实行高校重点实验室制度以来首批建立的国家重点实验室之一。2018年,实验室通过了科技部5年一次的国家重点实验室评估。近5年来,实验室在学科建设、学术水平、科技创新、国际合作、开放交流等方面取得了一系列重要进展。

实验室概况

目前,新金属材料国家重点实验室研究队伍中具有省部级以上人才称号者29人、总计60人次,其中有中国工程院院士2人,973首席科学家4人,国家“青年千人计划”入选者1人,国家自然科学基金获得者7人,教育部“长江学者”特聘教授8人。

实验室拥有各类仪器设备共1480余台(套),设备原值约1.1821亿元,其中50万元以上设备36台(套),10万元以上设备91台(套),具备较完备的材料制备与加工、组织结构分析与表征、合金计算模拟、材料

性能测试与安全服役评估的相关设备和仪器系统。实验室承担国内外企业、研究院(所)和高校等科研单位的材料制备加工研究,性能测试、检验及分析等技术服务与咨询工作,检测质量管理体系获得CNAS和CMA认证认可。

研究成果

实验室围绕总体发展目标开展研究,取得了丰硕成果,在材料科学与工程领域达到国际先进水平。(1)发表期刊论文1467篇,SCI收录1135篇,EI收录173篇;出版英文专著4部,中文专著20部。(2)获得国家自然科学二等奖2项,国家技术发明二等奖2项,国家科学技术进步二等奖1项,何梁何利奖1项,国家级教学成果一等奖1项,省部级一等奖26项、二等奖17项、三等奖3项。(3)在科研成果转化和应用方面,实验室共授权国家发明专利392项,申请国家发明专利224项;申请PCT国际发明专利6项;科研成果转让26项,转让金额1179万元。

重要学术进展

一、新金属结构材料的应用基础研究。具有优异力学性能的金属结构材料一直是材料科学发展的重要方向。实验室在这方面的研究取得重大进展:(1)研究高Nb-TiAl合金强韧化和新型合金的设计原理,突破了制约此类材料产业化应用的室温脆性和难加工等关键技术,发明了新的制备加工技术。高温TiAl合金近片层组织的屈服强度比目前世界上强度最高的TNB和TNM合金的室温屈服强度高出200~300MPa。(2)针对超高强钢低成本、高性能和简化工艺的目标,创新性地提出利用“最小错配度”和“有序效应”的设计思想,研发出高密度共格纳米析出强化的新一代超高强马氏体时效钢。(3)针对拓扑无序非晶态合金材料中存在的结构和室温脆性等关键问题,发现非晶合金强韧化的新原理和调控机制,发展一系列新型高性能块体非晶合金复合材料。针对化学无序的高熵

合金的相形成机理和结构-性能关联等最基本的关键科学问题,发现高熵合金中固溶体相的形成规律,研发一系列新型高性能高熵合金材料。

二、新金属功能材料的应用基础研究。功能材料是信息与能量转换的重要物质基础。实验室在探索多维度、多尺度和多场耦合条件下金属功能材料的合成、表征、性能调控及应用等方面开展了研究:(1)基于强织构化与跨尺度结构调控理论,通过研究 Fe-Ga 合金的相、畴、织构及其在力、磁、温度作用下的磁弹性行为,制备出 Fe-Ga 板材并在石油管道与重载铁轨中得到应用;(2)通过对两相界面的精准调控,研制出具有低滞后、低场驱动和巨磁热效应的 Ni-Co-Mn-Sn 材料以及低/无重稀土高矫顽力 NdFeB 磁体,阐明了金刚石/金属界面声子非弹性散射机制,研制出高热导率的金刚石/铜(铝)复合材料;(3)基于微观力电耦合性能,提出构筑二维叠加新型多级结构提高专属效率的新思路,开发出纳米片堆叠型 Cu 基柔性导线,发现了单原子层 MoS₂ 的压电效应及微纳尺度下应变对电输运性能的调控规律,揭示了二维材料结构缺陷的精确自修复机制和自驱动光电探测的稳定性,发现 Mn-Ni-Ga 材料在宽温区具有明显的拓扑霍尔效应和反常磁电阻平台,研发出具有室温宽域磁斯格明子拓扑磁畴结构的材料体系;(4)发现纳米金属粒子大幅增强荧光共轭聚合物荧光强度的新机制,研制出宽温域且相转变温度在室温范围可调控的 SmA 相液晶材料并获得重要应用。

三、新金属能源材料的应用基础研究。实验室围绕航空航天、核电站和海洋工程用高性能结构钢和高温合金的开发与服役安全中的关键科学问题,深入开展了一系列研究工作:(1)基于同步辐射、中子散射及原位电镜等先进手段,开拓

了真实试验环境下材料及部件的结构、微结构及功能行为的原位表征共性技术,极大提升了对新一代高性能结构材料的理解、设计和开发的创新能力;(2)通过系统研究合金化原理,发现并揭示了 Ti 和 Ta 的交互作用对提高新型 γ' 相强化钴基高温合金承温能力的影响机制,为发展具有更优综合性能的多组元钴基合金提供了合金原型;(3)在国内率先开展基于显微组织演变的涡轮叶片服役损伤评价方法研究,成果填补了我国相关研究的空白,为高温合金热端部件服役寿命管理提供了技术依据;(4)构建了覆盖我国典型海域环境类型的腐蚀外场试验研究新体系,建立了完善的材料海洋腐蚀试验规范和评价标准体系,整体提高了该领域试验、研究与应用的国际水平。

四、材料制备新技术与新工艺的基础研究。实验室通过开展深入系统的创新性研究,揭示了关键工艺参数与材料结构组成、性能之间的内在关系,建立系统的科学和工艺理论,突破关键工艺技术,形成核心自主知识产权。在此基础上发展了典型成分-工艺-组织-性能一体化控制集成技术,并部分实现产业化应用:(1)独创高性能铜/铝复合材料短流程高效生产新工艺,发明铜铝复合材料短流程成形加工成套工艺及产业化集成技术;(2)通过实现过程可视化和工艺参数的精确控制,发明了铜及铜合金热冷组合特种连铸技术;(3)创新合金化设计理念,发明具有优异综合性能的汽车轻量化用铝合金及其铸锭熔铸-变形加工一体化控制集成制造技术;(4)基于界面工程调控思想,创新发展了某新型枪械身管用高强韧钢和集成制造技术。该学术方向的研究成果为推动金属材料先进成形加工技术的发展,满足国民经济的发展、国防建设的重大需



求以及行业技术进步做出了重要贡献,取得了显著的社会经济效益。

五、金属材料计算机模拟与辅助设计。为加快新金属材料的研发进程,解决传统“试错法”金属材料研发模式过程复杂、效率低、成本高和周期长等问题,实验室开展有关计算机模拟与辅助设计研究:(1)通过第一性原理计算,揭示了合金化元素对高温合金中强化相形成、金属间化合物本征脆性等的影响规律,阐明了合金元素、混合熵、温度和压力等对高熵合金相结构和缺陷形成能的作用规律;(2)通过分子动力学模拟,从原子到微观层次上揭示了非晶合金的结构不均匀性及其与宏观性能的关联,揭示了非晶复合材料的变形机理;(3)开发了基于真实材料 3D 微观结构建模的材料微结构演化模拟和性能预测技术,发展了复杂异构材料数据的认知与数据提取算法和技术,完成了材料科学数据共享网的构建;(4)开发出可模拟大规格铝合金铸锭半连铸过程的数值模拟软件,通过模拟预测工艺方案,解决高合金化铝合金大尺寸铸锭的开裂问题;(5)研发模拟钢材制备加工过程的模型和方法,实现首钢 800MPa 级别特厚板材料设计、工艺与组织性能预报,助力我国研发超大型水电站结构关键材料成套技术及应用。(采访 逸飞)