

打破国际技术封锁 服务国家重大战略

——走进金属基复合材料国家重点实验室

Break International Technology Blockade, Serve for Great National Strategy

[编者按] 1989年,为满足国家重大战略需求和学科前沿发展,发展具有自主知识产权的先进复合材料,打破国际技术封锁和材料禁运,促进高科技发展的国家战略,国家计划委员会批准建立金属基复合材料国家重点实验室。实验室依托上海交通大学,定位应用基础研究,以国家重大战略需求和学科发展前沿为导向,在基础方面提供关键性、共性的理论依据和原理性技术支撑,在应用方面为国家重大战略领域提供高品质、多品种、宏量化的关重材料和构件。经过多年发展,实验室已成为国内外重要先进复合材料科学研究、技术创新、学术交流和人才培养基地;已成为我国乃至世界轻质、高强、多功能复合材料基础研究、应用研究和定点生产的主要基地之一,部分成果已成为国家唯一和不可替代的材料,为保障国家安全和高科技的发展作出了重要贡献。

研究方向及成果

近5年,实验室承担了大量的国家重大科研任务,实到科研经费5.4亿元。获国家自然科学奖二等奖1项,国家技术发明二等奖1项,省部级一等奖8项;授权国家发明专利516件,制定国家标准5项;发表学术论文2469篇(其中2275篇被SCI收录,SCI他引18182次),取得了一系列有国际水平和影响力的研究成果。主要研究方向及代表性成果包括:

(1) 先进高性能铝基复合材料。

轻质高强铝基复合材料在空间技术、重大装备等高技术领域具有重要的战略地位,国际上一直对我国实施技术封锁和材料禁运,自主发展先进高性能铝基复合材料至关重要。实验室对接国家重大战略需求,针对制约先进高性能铝基复合材料复合制备难、界面表征难、强韧匹配难等关键科学问题,获得了一系列突破性

的创新成果:多元体系的热力学理论建模揭示了界面物理化学相容性;复合界面的微纳力学研究解决了界面定量表征的国际难题;建模拟实揭示了复合材料变形与失效机制并可预测性能;微纳砖砌仿生复合化研究提出的学术思想和建立的技术原型,解决了长期以来困扰复合材料的强韧失配难题。

在理论指导下,研制出多品种、多规格、高性能系列铝基复合材料及实用关重构件,并成功应用于我国多个重大工程和重要型号上,为探月工程、载人航天工程、对地观测和通讯卫星等国家重大工程中的40余个重大型号提供关重构件10000余件,为支撑我国航天等领域发展作出了重大贡献。

相关成果获国家自然科学二等奖1项、国家技术发明二等奖1项、省部级技术发明一等奖3项。

(2) 镁基材料强韧化、复合化、

功能化及应用。

发展集结构与功能特性于一体的先进镁及镁基复合材料,对于满足航空航天领域需求具有重要的作用。实验室紧绕国家重大需求,建立了高性能镁稀土合金多元复合强韧化理论,探索出了粉末冶金原位合成硼化稀土/氮化稀土纳米颗粒增强镁稀土合金的复合化新途径,形成了系列的具有自主知识产权的镁合金,5个牌号镁合金列入国家标准,2个牌号列入国际镁合金标准。创制出具有核壳结构的纳米镁-稀土复合储氢材料,突破了镁基储氢材料批量制备的工艺难题,制备能力提高到吨级/年;研发出了高强韧、高生物相容性、降解行为可控、广谱抗菌功能的专利医用镁合金;首次实现系列高性能镁稀土合金在航空航天用大型复杂主承力结构部件上的应用,共计研制了20余种、1000余套轻量化关键部件,为我国装备轻量化和国家安

全作出了重大贡献。

相关成果获国防技术发明一等奖1项、上海市技术发明一等奖1项、上海市自然科学二等奖1项。

(3) 高性能钛基复合材料与高温合金。

研制高性能钛基复合材料和高温合金大规格、复杂结构关键部件,对于支撑我国航空航天需求具有重要的战略意义。实验室围绕制约钛基复合材料和高温合金形变加工难和精密铸造成型难等关键科学和技术问题,解决了钛基复合材料大变形难题,为高性能锻件研制提供了理论依据;利用增强体能够抑制基体粗晶的增殖和生长,提高液态流动性和熔体充型能力,解决了复杂构件精密铸造成型难题,实现了高性能钛基复合材料及高温合金精密成型的应用基础理论创新。

在重大工程应用中取得了重大技术突破:为航天批量提供高强度高模原位自生钛基复合材料及构件21批次、300余套产品;开发高温合金大型铸件精密成型技术,为航空航天提供关键构件,达到世界先进水平,为国家安全建设作出了重要贡献。

(4) 耐特殊服役环境特种功能复合材料。

为满足国家重大战略的迫切需求,进一步发展新型聚合物基复合材料,实验室发展了跨尺度增强功能体兼容方法、界面增强缺陷衍生控制方法,为研制“大潜深、高耐压”的特种材料提供了理论依据与实用途径。开展了下一代超支化聚合物组装和复合技术的前沿研究,建立了国际上第1个超支化聚合物组装与复合理论模型,有效指导了材料设计、合成组装及性能调控,为新型聚合物发展提供了理论基础,研究成果处于国际前列。

实验室研制的多个系列特种功能复合材料已成为我国唯一和不可替代材料,长期为装备提供配套。

相关成果获上海市科学技术一等奖1项。

(5) 分级结构光功能能量转换与存储材料的基础研究。

分级结构光功能能量转换与存储材料基础研究系面向未来材料新型结构发展的前瞻性基础研究。实验室面向学科发展前沿,在新型功能复合材料领域取得一系列原始创新成果:提出巧借自然生物精细构型,通过“结构传承、材质置换”构筑既秉承自然生物精细构型特征,又有人工材质特性的“遗态材料”学术新思想,为高性能构型化材料研究提供了新原理、新方法,受国内外同行瞩目和跟踪研究;制备出适于钙钛矿太阳能电池的稳定、高导电性的重掺杂型电荷传输层材料(*Science* 2015),开发了大面积高效钙钛矿太阳能电池模块,在面积36cm²的模块器件上获得12.1%的认证效率(*Nature* 2017),构建稳定异质结结构,为提升器件稳定性提供了全新的思路(*Science* 2019),推动了低成本太阳能电池研究和未来大规模产业化进程,在国际上引起巨大关注和反响,推动了学科交叉及相关领域的发展。

相关成果获上海市自然科学一等奖1项。

► 科研平台与队伍建设 ◀

实验室现有50万元以上的仪器设备60台/套,现有仪器设备总值1.6亿元;实验室分析测试设备齐全,建设了系统、先进的材料结构分析表征、性能测试、计算模拟平台。实验室构建了具有自主知识产权的新型复合材料制备技术原型和制造装备平台,自主研发核心装备14台/套。其中,自主研发的“吨级复合熔炼成套设备”可制备出世界上最大的吨级铝基复合材料铸锭,支撑了我国航空、航天等领域重大工程专项的顺利实施。

实验室现有固定人员88人,其

中教授(研究员)61人,副教授(高工)23人。拥有科学院院士1人,工程院院士1人,国家杰青11人,长江特聘教授10人,国家优青5人,青年长江学者4人,7人次担任国家973计划项目和国家重点研发计划项目的首席科学家,国家自然科学基金委创新群体1个,固定研究人员中90%以上具有博士学位。实验室现有在站博士后104人,在读硕士研究生301人,在读博士研究生433人。实验室已成为我国复合材料研究领域高水平人才培养和聚集基地。

► 国内外合作与交流 ◀

实验室高度重视并积极促进与国内外大学、科研院所及企业开展实质性学术交流与合作,极大地提升了在国内外的学术影响力,推动了实验室发展。

在国际合作方面,2015年实验室获批教育部和外专局“111”国际合作引智基地——先进轻金属材料创新引智基地,2017年获批科技部国家“多尺度复合材料国际联合研究中心”,搭建国际合作交流的平台。实验室已与日本物质材料研究机构、美国西北大学、瑞士苏黎世联邦理工学院、德国柏林大学和加拿大魁北克大学等签署了正式合作协议,开展合作研究,共同培养研究生,互派访问学者,共同发表合作论文。通过国际合作与交流,大大提升了实验室的国际影响力与研究实力。

在国内合作方面,实验室与中科院金属所、哈工大等多家研究机构针对国家战略需求开展系统的深入合作,引领国内行业重大科学问题的研究攻关和行业人才培养。此外,实验室与中国平煤神马集团和百色百矿集团有限公司等大企业成立联合研究中心16家,通过产学研合作,实现基础研究的应用转化,为国家高科技发展提供动能。

(采访 雷松)