

立足原始创新 服务国家重大需求

——走进凝固技术国家重点实验室

Based on Original Innovation, Serve for Great National Demand

[编者按] 凝固技术国家重点实验室依托西北工业大学,立足科学发展的国际前沿,面向航空航天高端装备等国家重大需求,在现代凝固理论、材料精确成形和先进材料等方面开展原创性、系统性的科学研究,形成一批具有重大原始创新、高影响力的成果。建成在凝固与相关科学与技术领域代表中国学术水平,在国际凝固及相关领域具有重要影响的科学研究基地、人才培养基地、技术创新基地、学术交流基地和国家公共研究平台。

实验室概况

凝固技术国家重点实验室是在西北工业大学原铸造专业国家重点学科基础上建立的,于1989年由原国家计委和国家教委批准建设,1995年建成并通过国家验收,1998年4月通过原主管部门中国航空工业总公司组织的自评估,2018年实验室在科技部5年一次的国家重点实验室评估结果为“良好”。

凝固技术国家重点实验室定位于凝固与相关科学技术领域的应用基础研究,主要研究方向为现代凝固理论、材料精确成形和航空航天先进材料。现任实验室主任为李金山教授,学术委员会主任为中国科学院院士魏炳波教授。实验室现有固定人员126人,其中两院院士6人,国家级杰出人才13人,国家级青年人才15人;拥有国家自然科学基金委优秀创新群体1个,长江学者创新团队2个,国家科技工业优秀科技创新团队1个,是凝固及相关科学技术

领域高层次人才最为集中的研究机构。

凝固技术国家重点实验室坚持以航空航天为代表的国防重大材料技术需求为主要服务对象,在不断形成具有重大原始创新、高影响力理论成果和实现技术创新的同时,充分发挥在材料科学技术研究领域的综合性和集成性优势,提供从基础理论、新技术原理、材料设计、制备成形、成套装备到使用效能的完整技术方案。2013年至今,实验室获国家级科技奖励8项(国家自然科学基金二等奖1项,国家技术发明二等奖7项),省部级一等奖12项;获授权国家发明专利400余项;在金属增材制造、陶瓷基复合材料、钛合金/铝合金热加工、化合物半导体探测器材料和碳/碳复合材料等方面的专利成果还支撑了铂力特、鑫垚、超晶、迪泰克、航洋5个高新技术企业,其中,铂力特已成为具有显著世界影响力的中国3D打印龙头企业,并于2019年在科创板正式上市交易。

创新性成果与进展

凝固理论研究不仅提供对凝固过程的科学认识和深刻理解,而且还是发展先进凝固技术和先进材料的基础。刘峰教授建立了更精确描述实际生产复杂过程的凝固与固态相变一体化理论,大幅度松弛了经典凝固理论的一些约束性假设,揭示了钢铁、铝合金连铸涉及的相变热力学/动力学协同效应以及与微观组织和关键力学性能的定量关联,理论成果在高强度低合金钢、铝合金、非晶合金以及纳米晶材料组织调控方面获得应用。王锦程教授和李双明教授等建立了精确模拟凝固界面特性的相场模型,实现了以微观组织为核心的定向凝固、增材制造、快速凝固过程跨尺度多物理场模拟,深化了对形核机理、竞争生长等基础问题的认识。介万奇教授揭示了II~VI族多元化合物半导体晶体生长的组分凝固与成分过冷规律,建立了晶体合成、生长及后续退火处理工艺控制方

法,解决了晶体结构、成分与缺陷控制的难题,制备出多种 II ~ VI 族多元化合物晶体与探测器器件,在空间探测、环境监测、核科技、医疗等领域获得广泛应用。樊慧庆教授将低温气液凝固纳米合成技术和组织结构设计与相结合,开发出多种大面积、可折叠、柔韧性的压电纳米复合膜及其纳米发电机,可望应用于移动电子器件、电动/混合动力汽车等领域和柔性显示屏、电子皮肤等柔性设备。王洪强教授将极端非平衡凝固技术用于光电转换材料与器件研究,开辟出极端条件与新能源器件前沿交叉方向。

实验室面向航空航天等国家重大工程需求,在金属材料近净成形技术方面取得了多项成果。介万奇教授发展了大型复杂薄壁构件的反重力铸造工艺与装备技术,研发出 3D 打印辅助造型的真空增压石膏型精铸技术,生产出最大尺寸 3~5m、壁厚 1.5~40mm 不等的各类高质量铸件,尺寸精度较传统铸造技术提高 2~4 级,形成了目前世界上最大尺寸铝合金结构件精密铸造能力,并在航空航天等领域获得广泛应用。黄卫东教授和林鑫教授团队开发出达到世界先进水平的系列金属增材制造装备和成套先进工艺技术,突破了高性能、成形精度和效率兼顾的技术难题,2017 年采用 3D 打印制造了 2 万多个金属零件,服务于 100 余家航空航天军工企业,为我国先进飞机、空天发动机、航天飞行器等研制生产提供了可靠的技术保障。詹梅教授团队创立了局部加载主动控制和利用不均匀变形实现难变形材料复杂构件塑性成形制造的关键技术,形成了轻量化构件精确塑性成形工艺、模具装备和技术体系,实现了难变形材料大口径薄壁弯管件、钛合金复杂锻件、板带面内弯曲件和大型薄壁异形件 4 大类构件的高端制造,为我国先进飞机关键轻量化弯管件和管路系统、高筋薄腹结构钛合金整体隔框的

制造提供了技术支撑。刘东教授与航空工业安大等单位合作,突破了复杂薄壁环件精确辗轧关键技术,实现了高温合金、钛合金等难变形材料复杂截面环形件的精确碾轧成形,材料利用率提高到 50% 以上,精度提高到 5‰ 以内,在 20 余型发动机上实现应用,提升了我国环件精确碾轧成形领域的自主创新能力和航空发动机相关重件的自主保障能力。

针对国防武器装备跨代发展对先进材料的需求,实验室持续致力于从科学基础、关键技术到工程化应用的全链条研究,形成了重大基础→预研→型号应用的可持续发展链,成果在航空、航天和兵器领域获得广泛应用。李金山教授将材料基因工程与组织调控理论相结合,开发了多种高性能钛合金材料及其锻件制备技术,高强钛合金紧固件、钛合金刹车盘壳体等多种产品在航空航天多个重要型号上获得应用。李贺军院士创新发展了 C/C 复合材料高效低成本制备工艺和性能稳定性控制方法,在长寿命耐高温氧化/烧蚀涂层研究领域取得理论创新与技术突破,探索了 CNT 及陶瓷纳米线增强 C/C 复合材料、新型高柔韧性 CNTs/C 纳米复合材料的制备方法,研制的 C/C 复合材料喉衬、烧蚀环等热防护系统关键件已在多种型号高新武器定型列装。张立同院士团队突破了碳陶飞机刹车功能复合材料研制与应用的系列关键技术,在国际上率先实现了多种功能改性 C/SiC 大型复杂防热构件的一体化组合集成制造,使我国成为国际首个将碳陶刹车盘成功用于飞机机轮刹车的国家,研究成果在航空航天发动机、高超声速飞行器、卫星等多个型号获得应用,支撑了国家重大专项的实施。周万城教授在发动机高温隐身领域开展了开创性的研究,有效解决了隐身材料高温性能易退化和高温热振易损坏等关键难题,研究成功一个完整系列的高温功能

材料,成功应用于多个发动机型号,使我国首次具有了隐身航空发动机,填补了国内空白。

学术交流与合作

凝固技术国家重点实验室坚持以我为主,持续加强国内外学术交流与合作,在提高基础研究水平、引育高素质人才方面成果显著。2013 年至今,实验室先后承担了中法、中德、欧盟第 7 框架“玛丽·居里行动”、英国 GII 以及国家重点研发计划项目政府间国际科技创新合作重点专项等 20 余项合作研究项目,并与空客公司建立了西北工业大学-空中客车公司增材制造联合实验室。在材料基因工程方向,实验室积极抓住与国外专家的合作契机,筑巢引凤,先后引进王俊杰、牛海洋等多位青年学者,并聘任日本东京工业大学细野秀雄教授、瑞士苏黎世联邦理工学院 Michele Parrinello 教授为名誉教授,组建了实验室“材料基因组国际合作研究中心”和“中俄计算材料发现联合实验室”,获得基金委资助的中法合作交流项目 2 项,多项研究成果发表在 *Nature Reviews Materials* 和 *Nature Communications* 上。2019 年, Oganov 教授获中国政府友谊奖,并当选英国皇家化学学会会士(Fellow of the Royal Society of Chemistry, FRSC),先后受邀出席在人民大会堂举行的外国专家新春座谈会和科技部“2035 国家中长期科技发展规划”外国专家建言会等重要活动。

作为中国材料研究会凝固科学与技术分会的理事长单位,凝固技术国家重点实验室还致力于打造凝固科学与技术高层论坛、青年论坛等系列学术会议,并坚持以凝固科学技术为核心,与材料、能源、信息、生命、空间科学和物理化学等学科进行深度交叉融合,培育重大原始创新成果,服务国家重大战略工程。

(采访 李丹)