

# 面向“双碳”产业需求 聚焦轻量化材料与制造研究

## ——走进江西省轻质高强结构材料重点实验室

Focus on Lightweight Materials and Manufacturing Research for Needs of  
Carbon Peak and Carbon Neutrality Industry

[编者按] 江西省轻质高强结构材料重点实验室(以下简称实验室)组建于2017年,依托南昌大学国家一流学科材料科学与工程大平台,面向航空、航天、汽车等领域材料轻量化国家战略发展需求,以轻质高强结构材料的开发和制造为主要研究领域开展基础研究和应用研究,注重科技成果转化,坚持多学科交叉合作发展和产学研用相结合,解决关键卡脖子难题。实验室强调创新和产业化在科研过程中的重要性,在发展过程中逐渐形成了求实、求新的科研风气,为推动中国轻量化事业的进步做出了贡献。

### 实验室概况

实验室共有包括国家香江学者、江西省青年科学家、江西省主要学术学科带头人、江西省百千万人才和江西省“双千计划”人才等在内的教授8人,副教授11人,讲师4人。近5年来共承担各类国家级、省级基金项目60余项,其中国家科技支撑计划重大项目(子项目)2项,国家重点研发项目(子项目)1项,国际合作与交流项目3项,在 *Carbon*、*Ann Rev Mater Res* 等国际知名期刊发表SCI论文300余篇,申请和授权专利100余项,荣获省部级科研奖励10多项,部分研究成果达到国际先进水平。

实验室围绕轻质高强结构材料进行相关基础研究及产业化中试应用,从轻质高强结构材料的多尺度集成材料计算工程、复合强韧化设计、低成本先进制备加工工艺、表面改性及连接技术、先进增材制造关键技术

等方向开展研究。针对镁合金材料自身强度低、塑性差、耐腐蚀性和高温性能差的缺点,从基础应用类研究出发,从机理上寻找解决办法,从配方上寻求创新方案,开展了基础理论、制造计算和装备的系统研究及工程应用。实验室创建了省内顶级、国内一流的镁合金研究技术基地,汇集了一批国内外材料、机械、力学、物理、计算机、智能制造等多学科领域的优秀人才和科研工作者,形成了一支创新能力优异、科研能力突出、人才输出能力强劲的稳定团队。

### 主要研究成果

实验室承担的各项国家项目取得了突破性的成绩,创新成果广泛应用于工业生产制造,部分研究成果如下。

(1)材料多尺度集成计算工程。传统镁合金试错法具有研发成本高、周期长的弊端,从新材料研发到工业

化应用通常耗时10余年,长期以来制约了镁合金行业的发展,难以满足高性能轻质材料的制造需求。实验室基于材料基因组思想,开展了数据驱动的镁合金成分设计与筛选,获得了镁合金成分/工艺对典型强化相结构的影响规律,揭示了典型强化相及其与镁基体界面结构对镁合金性能的影响规律。在基础数据的支持下,针对高温强化性能需求,通过数据驱动,最终优选出具有高热稳定性的C15型Laves相。即根据电子结构构型筛选强化作用相,再根据低形成焓、低界面能原则筛选出高热稳定性相,随后依据弹性常数、力学各向异性、塑性/脆性、热力学参数及上述性能随温度、压力的变化趋势优选出Laves相。

(2)材料复合强韧化设计理论。轻质高强韧的镁合金材料是航空航天、交通运输及武器装备等领域减重增效的理想材料,但是传统镁合金具

有塑性低、绝对强度不高的缺点。实验室经过长期研究稀土在金属材料中的应用,提出了双相复合强化、协同提升镁合金强度与塑性的新思路。系统研究了 Laves 相和准晶相复合强化镁合金的组织演变规律、富镁区双相的形成规律和成分设计准则,揭示了双相复合强化镁合金的强韧化机制,发现稀土元素含量( Zn/Gd 原子比和 Gd 含量)是影响准晶相形成和分布的主要因素,并得到了准晶相的最佳成分范围。探究了热处理和变形工艺(冷却速率、固溶、时效、挤压等)对镁合金组织演变的影响,实现了镁合金强韧化目标。

(3) 低成本先进制备加工工艺研究。镁合金的低成本加工工艺对扩大镁合金构件的应用范围,提高国家镁合金制造的整体技术水平具有重要作用。实验室在高强耐热镁合金、超轻镁锂合金、超塑性镁合金和镁基复合材料等先进镁合金材料的制备上都取得了一定的研究成果。采用合金化和微合金化开发了3种压铸工艺性能和热处理强化性能相结合的新型低成本压铸镁合金,探究了不同真空条件下镁合金的组织缺陷变化规律和力学性能;研究了热处理工艺对真空压铸镁合金组织和力学性能的影响,优化了热处理工艺,阐明了真空压铸镁合金的工艺-组织-性能关系,并建立了相关本构关系方程,开发出具有自主知识产权的镁合金低成本制备新工艺。

(4) 材料表面改性及连接技术。针对镁合金表面易腐蚀、性能弱化以及异质材料焊接困难等问题,开展了原子层沉积纳米薄膜表面改性创新设计和铜锌合金中间层真空电子束焊接新方法等研究。研制出镁合金单层、复合系列薄膜制备新工艺,通过镁合金表面自限性吸附和化学反应在低温条件制备薄膜,实现了化学成分准、厚度可控、致密度高、三维阶梯覆盖好、大面积连续、与基体结合力好的薄膜材料和结构的自由设计和调控;揭示了镁钢异种焊接中焊缝接合形式、焊缝区微观组织结构及成分、接头力学性能的关联规律,提高了镁钢异种材料焊接过程的稳定性,减少了焊接缺陷。异质材料连接在显著减轻载具整体重量的同时加强了局部承重能力,推进了载具轻量化节能减排,实现了“双碳”目标。

(5) 先进增材制造技术研究。针对大型复杂金属制件制造困难、周期长、成本高等问题,提出了超声微锻造辅助激光熔丝增材复合制造新工艺,揭示了成形组织晶粒细化和均匀性控制、微观缺陷治愈及残余应力消除等作用机制,通过将超声能场以同步耦合的方式引入到金属激光熔丝增材制造过程中,对凝固组织产生积极影响,能够有效抑制柱状晶的生长、弱化织构及促使等轴晶的形成;提出了激光逐层减功率工艺,通过调节激光能量、熔池区温度与金属材料



镁合金轮毂

的匹配关系,逐层改善了沉积组织性能,实现了层间孔洞缺陷抑制以及界面残余热应力调控,结合材料测试方法表征材料的显微组织及性能等手段,最终实现了大型金属制件控形控性增材制造技术和理论创新。

### 交流与合作

实验室本着“自由、开放、合作、共赢”理念,先后与国内及美、英、日等境外多所知名大学、科研机构和企业开展学术交流与合作,在国内外产生了较大的影响力。通过“海智计划”积极举办、参与各项学术交流会议,共主办国际国内学术交流会议9次,应邀在国际国内学术会议上做报告20余次,参加学术会议40余次。此外,有10余人担任国际、国内期刊审稿人。

### 未来规划

实验室将聚焦轻质高强结构材料研发与应用的发展需求,围绕国家碳达峰和碳中和的“双碳”目标,不断提高基础理论研究水平和产业应用创新能力;加强实验室管理和建设,定期更新实验室仪器设备以适应科研发展需求;加强团队人才培养和引进,吸纳优秀中青年人才和高层次人才加盟实验室,培养优秀科研人员;加强国内外合作与交流,与企业建立良好的合作关系,与科研机构建立密切的联系,集中力量解决国家轻量化产业领域的“卡脖子”难题。

(采访 雷松)



力学性能实验室