

着眼国家战略需求 研寻新型特种纤维

——新型特种纤维及其复合材料湖南省重点实验室

Research on Advanced Fibers to Meet National Strategic Needs

[编者按] 以碳化硅纤维为代表的新型特种纤维具有良好的性能,在航空航天、军工武器装备等高科技领域备受关注,作为一种战略储备性新材料,我国正在加大部署和投资力度。新型特种纤维及其复合材料湖南省重点实验室以国家战略需求和学科发展前沿为导向,开展新型特种纤维材料及复合材料等领域的应用基础研究,为行业发展提供关键性的理论依据和原理性技术支撑。

新型特种纤维及其复合材料湖南省重点实验室于2015年经湖南省科技厅批准筹建,目前已成为湖南省特种纤维材料及其增强复合材料的科学研究、学术交流、技术创新和高级人才培养的中心,以及我国高性能SiC纤维和新型隐身复合材料的重要研发和生产基地。

实验室现有固定人员22人,其中教授(研究员)7人,副教授(高工)13人,20人拥有博士学位。现任实验室主任为黄小忠教授,学术委员会主任分别为李仲平院士和黄伯云院士。固定人员中包括中南大学二级教授3人,1人为国务院政府津贴获得者、国家重大科技专项发动机材料专家组成员,1人为总装863-702组行业专家、装备发展部先进材料技术专业组专家。

▀ 试验设施与资质 ▾

实验室1500m²的集中实验区域,具有国内领先的电磁吸波检测和高性能纤维研究的软硬件条件。目

前拥有一套AV3629矢量网络分析仪,可快速准确地测量射频网络的幅度特性、相位特性和群延迟特性,还可进行时域和频率变换器件的测量,在高性能电磁吸波材料领域开展了大量的研究工作。拥有磁控溅射镀膜设备和化学气相沉积设备可满足连续纤维进行过程中均匀地涂覆涂层,在纤维表面改性领域具有重要应用价值。实验室建立了从陶瓷先驱体制备、纺丝、不熔化处理到高温烧结陶瓷化以及纤维表面改性处理的一整套陶瓷纤维研制和批量试制设备,包括日本神津公司牵引机、纺丝机、收丝机、浸丝-烧丝系统、纤维性能测试系统等,已具有产业化条件。

实验室拥有国防武器装备科研生产一级许可证(隐身材料),通过了国防武器装备科研生产单位二级保密资格认证和国军标质量管理体系认证,按照教育部和军队要求建立和健全了系列科研管理体系,可满足当前航空航天和武器装备等领域中电磁吸波材料和高性能陶瓷纤维及其

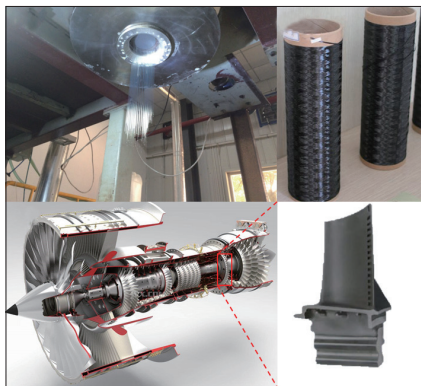
复合材料的研制和检测需求。

▀ 重大项目及成果 ▾

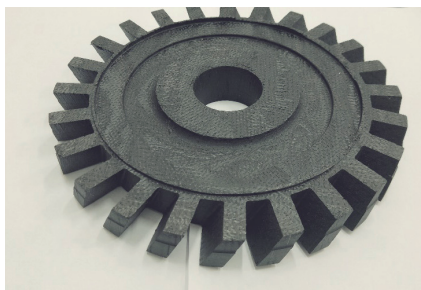
近5年,实验室主持国家“863”计划重大项目3项,国家“863”计划项目18项,国家“973”计划项目6项,国防基础科研计划“十二五”重点项目1项,国家自然科学基金5项,国家支撑项目课题1项,国家××重大科学工程专项1项,国家重大基础预研项目1项,国防科技工业局关键材料攻关重大项目1项,湖南战略新兴产业重点攻关项目1项,总装新品项目3项,军品配套项目3项,总装预研和二炮预研各1项等。实验室经过多年的辛勤探索,在高性能纤维等方面取得了重要突破。

(1)碳化硅纤维及其复合材料研究。

实验室创造性地提出并制备了一类新型含铍SiC高性能陶瓷纤维,这是我国首例具有自主知识产权的SiC陶瓷纤维,采用该技术方案,通过铍的加入克服了我国国产



实验室批量研制的含铍碳化硅纤维



某型号发动机高温涡轮叶片 (SiC/SiC)

碳化硅纤维由于氧含量高而耐温性差的难题,成功制备出在空气中耐1250℃的碳化硅纤维,可满足我国航空发动机热端部件对碳化硅纤维空气中耐温大于1200℃的要求,并具备了批量试制高性能含铍碳化硅纤维的能力。

(2) 隐身复合材料研究。

隐身材料是提升现代武器装备作战效能的重要物质基础,是航空航天材料领域研究的技术前沿,受到各航空航天大国的高度重视。项目团队提出了先驱体法制备磁性涂层吸波碳纤维,通过16年时间突破了单根纤维制备、束丝纤维制备、连续纤维制备工业化及其电磁性能控制等关键技术,在新型隐身材料领域取得了一批高水平研究成果,获得了“隐身材料”国家武器装备一级生产许可证,制备出既有电损耗又有磁损耗的吸波碳纤维,并利用该纤维制备出宽频吸收、轻质的夹芯吸波泡沫结构复合材料。

(3) 超材料和纤维忆阻器阵列研究。

项目团队长期从事超材料吸

波体的研究,在常规吸波超材料的基础上,通过加载无源器件的吸波超材料,在结构开口处加载电容并改变电容值,实现了在3~12GHz频率范围内的频率可调吸收;同时也研究了加载电阻的无源超材料吸波体,并将电阻型超材料吸波体和吸波泡沫复合,均获得了良好的吸波性能。2013年4月,在国内首次提出了3D打印吸波超材料的技术概念,研制出一种用于选区激光烧结型3D打印机的吸波性粉末,可进行精度为0.6mm、单件最大尺寸300mm×300mm×300mm以内的任意形状产品制造;将材料科学与信息技术交叉,对材料进行编码,利用3D打印机获得了边长180mm、包括10万个物理单元的具有隐身性能的超材料,该材料在2~18GHz均有一定吸波性,吸收峰值可以达到-20dB以下,在4mm时频宽可以达到4~18GHz,通过调节粉末组分也可将吸收峰值控制在4~12GHz内任意频点。该成果为超材料的批量和工程化制备探索出了一条新的技术路线,为下一代隐身材料的发展做好了技术储备。

另外,项目团队近年来在具有信息存储功能的新型电路元件——忆阻器的研究上也取得了一些重要进展,并初步得到了一些重要研究成果:申请并授权了国家发明专利《一种基于纤维衬底的忆阻器及其制备方法》;采用直径约7μm的碳纤维为原材料,通过特殊的表面处理,采用合适的搭接方式,首次在微米尺度上物理实现了忆阻器原型件;对制备的忆阻器内部的物理过程进行了分析,构件了制备纤维忆阻器原型件的理论模型。通过前期研究,采用改性处理的碳纤维制备出柔性忆阻器原型件,进而将这种电阻非线性可调同时具有信息存储功能的新型电路元件——忆阻器与FSS超材料技术相结合,通过在一定范围内改变FSS超材料的电阻,从而实现吸波体与外

来电磁波的阻抗匹配,有望达到智能雷达吸波隐身的效果。

科技成果应用

实验室在高性能纤维的研制工作上已经站在了国内前列,初步具备了批量试制高性能含铍碳化硅纤维的能力,目前该研究得到国家主题重点项目和湖南省战略新兴产业重点攻关课题的大力支持,经费累计近2000万元,而且已组建了我国第一条含铍碳化硅纤维批量试验线,采用该SiC纤维制备的金属基和陶瓷基复合材料已开发了相应的构件,并与中国航发研究所、涡轮院等研究所建立了稳定的合作关系。

实验室研发的隐身复合材料已批量应用于国防重点型号产品上,新型吸波碳纤维目前已提供近100批次、总计近万平方米的应用。批量应用于XX-2X导弹发射车,获得了中国运载火箭研究院嘉奖;该结构吸波泡沫已完成了多个型号验证,将应用于XX-1X吸波-防热一体化构件与隐身防弹一体化构件、XX-3X、XX-4X、XX-X8、国产X号航母和XX大驱等国防重点型号产品,目前已陆续拓展到海、陆、空及后勤应用,实现了战略武器系统平台隐身技术宽频化、强吸收和轻量化统一,有效提高武器系统在未来战场上的生存能力和机动性。

在低成本的颗粒增强金属基复合材料方面,已经开展的大量前瞻性研究为今后研制连续纤维增强金属基复合材料打下了良好基础,并积累了丰富的复合材料制备技术经验。目前,实验室已经初步打通了“纤维-基体-复合材料”这一完整的复合材料产业链的研究,将通过后续研究的不断提高,采用关键技术转让的合作形式,联合国内相关企业进行规模化生产,助推国内连续纤维增强复合材料快速发展,为促进我国军民融合产业的发展作出重要贡献。

(采访 逸飞)