

纳米复材, 铸造未来

编者按 中国科协第373次青年科学家论坛——纳米功能复合材料发展论坛于2019年7月25—26日在大理举办。此次论坛由中国科协学会服务中心主办、中国复合材料学会承办。本刊摘录部分学者的主要观点,以飨读者。

聚焦纳米功能前沿, 推动复合材料发展

谷红波(同济大学, 副教授)

目前, 复合材料尤其是碳纤维复合材料由于具有低密度、高强度及强大的可设计性等特点, 逐渐代替部分传统材料, 在航空航天、民用等领域得到广泛应用。然而, 这些复合材料在应用时存在诸多不足之处, 例如柔韧性差、导电性差及成本较高等, 极大地影响了其在航空航天和民用等领域的大规模应用。相较而言, 纳米复合材料结合了纳米材料奇特的量子效应和复合材料复杂多样的结构特征, 为复合材料的研究和应用开辟了崭新的领域, 引起了科学家和产业界的广泛关注和深入研究。近年来, 纳米功能复合材料的使用, 为复合材料引入了光、电、磁等特性。功能纳米复合材料的构筑可以有效地改善复合材料的层间性能, 增强复合材料的可处理性和稳定性, 并为复合材料引入新的光学、电学和磁学特性, 将大幅提高航空航天等领域复合材料的性能, 有望引起新一代航空航天等领域的重大变革。

“一材多用”——纳米复合材料的结构功能一体化

彭庆宇(哈尔滨工业大学, 教授)

先进材料作为空天、舰艇及陆基装备的核心支撑, 地位尤为重要。质量更轻、刚度更高、强度更大仅是对材料最基本承载与定型的要求, 而将作动、

电、热、磁、声波管理、自修复、健康监测等材料的功能特性与结构实现一体化, 充分体现“一材多用”的原则, 已成为提升装备能力的关键。

目前航空航天装备结构质量仅占系统质量的10%~15%, 而机箱、电缆、封装等支撑或与连接器相关的功能性寄生构件质量占航天器质量的50%以上。在以轻量化为基础的目标牵引下, 单独集中在结构质量的减少已无法满足需求, 功能性设备与器件自身的小型化、集成化成为减重中最有效的途径, 但随之而来的是高热量、大噪声等新的问题。为此而增加新的功能性质量已不现实, 因此更加需要通过材料结构功能一体化来达到轻量化的目标。

纳米复合材料是指将纳米材料作为增强体与其他基体材料复合而成的材料, 包括金属基纳米复合材料、陶瓷基纳米复合材料及聚合物基纳米复合材料。除了提升材料的力学性能以外, 纳米复合材料可实现纳米材料微观尺度上优异的电、热、磁等性能向宏观构件功能的转化, 在材料结构功能一体化方面展现出巨大的发展潜力。在未来, 纳米复合材料结构功能一体化技术的发展与应用, 将使装备系统结构简单化、轻量化, 稳定性与可靠性提升, 推动先进装备的升级与换代。

见微知著, 材从料来

张宗波(中国科学院化学研究所, 副研究员)

目前, 复合材料的应用水平已成为国家科技实力的直接体现。随着复合材料应用领域不断拓宽,

围绕复合材料的研究正朝向纳米化、智能化、多功能的方向发展。复合材料的微观结构设计、多功能构筑及精准加工是摆在研究者面前的机遇与挑战。光电、光热、电磁、磁电等功能使复合材料的应用形式更加多样化,量子点、低维碳材料的研究为复合材料的微观尺度功能设计提供了材料选择,微重力下的材料成型则展示了未来太空遨游的无限可能。

电/磁驱动智能复合材料的性能及应用

董旭峰(大连理工大学,副教授)

电、磁驱动智能复合材料包括电流变液、磁流变液、电流变弹性体、磁流变弹性体等。此类智能复合材料的流变性或动态黏弹性可通过电场或磁场实时、可逆、迅速调节,在阻尼减振、变刚度控制、柔性机器人等领域具有广阔的应用前景。

太空制造技术的探索

段文艳(中国科学院空间应用工程与技术中心,助理研究员)

太空制造技术被认为是支持开展大规模空间科学实验、深空探测任务的战略性关键技术,成为世界主要航天强国的热点关注领域。微重力下陶瓷材料的增材制备过程是,首先制备一种无流动性的膏体材料,再采用立体光刻技术使之固化成型,最终脱脂烧结获得复杂结构的陶瓷构件。采用熔融沉积工艺,为了克服打印件Z轴力学性能明显低于X/Y轴的问题,研究了掺杂碳纤维聚醚醚酮的打印,其弯曲强度达到146 MPa,与传统注塑件弯曲强度接近一致,该方法制备的聚醚醚酮打印件有望在空间大型结构件原位制造、汽车航天等领域得到进一步应用。

具有多功能的高性能柔性智能驱动材料的设计及应用探索

胡颖(合肥工业大学,研究员)

柔性智能驱动材料能将外部光、电、热、湿度等

能量直接转化为材料本身的机械变形,展示了巨大的应用前景。目前,该领域的挑战在于实现柔性驱动材料的快速大变形及多自由度变形输出,此外,进一步扩展驱动材料的功能性,实现其在机械变形之外的其他功能也是目前关注的焦点之一。针对于此,设计了一种具有卷曲形状的碳纳米管薄膜驱动器。由于驱动器中预应力的存在,保证了其在变形下的优异回弹性,使之具有外部光、电刺激下的快速大变形性能;从“弹指”这种日常行为中获得灵感,通过简单的形状设计来模拟“弹指”中的拇指与中指相互接触,构筑了光驱动跳跃“机器人”,实现了其在光照射下的跳跃空翻运动。此外,还发展了一种基于非对称结构的具有传感与驱动双功能的纸基石墨烯智能薄膜,通过一定的设计,该薄膜不仅能贴附在人体上用于动作监测,并且能在光照下产生打开/关闭的可控可逆变形,从而赋予可穿戴力学传感器智能变形的特性。进一步将变色染料与驱动器进行结合,探索了智能驱动器的变形变色功能及在仿生运动中的应用研究。

低维材料原位力学及多功能应用

隋超(哈尔滨工业大学,副教授)

具备一定机械强度是一切材料实际应用的基础,以原位力学为基础对低维材料的结构进行了设计和机理研究,以单壁碳纳米管为基础设计并制备了一种高度定向的超薄碳纳米管薄膜,通过原位力学实验揭示了膜的各向异性力学性质,利用不同树脂体系实现了力学和电学两方面应用;利用原位力学结合微纳米器件技术,研究了电极材料氧化锡纳米线充放电过程(锂化还原过程)对力学性能的影响规律,建立了电化学与力学性能的联系。

碳纳米管纤维宏量制备与力电性能

勇振中(中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所,研究员)

轻质、高强度、多功能特种纤维材料是航空航天、国防科技发展过程的关键材料,是目前新材料技术与产业发展的重要方向之一,亦是中国“十三

五”科技规划新材料技术发展的重要内容。与碳纤维相比,碳纳米管具有更完美的石墨层结构、更低的质量密度和更高的强度和模量,被视为终极碳纤维。碳纳米管纤维材料是由纳米尺度的碳纳米管有序组装而成的一维宏观纤维材料,在高强、高导电纤维方面具有非常好的应用前景,碳纳米管纤维的应用有望给新一代纤维材料技术带来革命性的提升。针对这一重大需求,在制备设备研制与工艺研发的基础上,实现了碳纳米管纤维连续 1000 m 的制备能力。在此基础上,揭示了碳纳米管组装结构、管间界面特性对碳纳米管纤维力学、导电性能的影响机理,实现了碳纳米管纤维强度、导电性能的提升。

抗冲抑振多功能复合材料结构的设计制备及性能评价

杨金水(哈尔滨工程大学,副教授)

作为新一代先进轻质超强韧结构材料,复合材料三维多孔结构受到国内外众多学者的广泛关注。目前关于该类结构材料的设计制备及相关力学性能的研究取得大量研究成果,但该类结构的振

动阻尼、冲击吸能特性的研究则处于起步阶段。研制兼具优异力学承载性能和吸能减振性能的多功能复合材料及结构是当前轻质结构功能一体化技术研究的关键课题之一。

高强纳米线基先进材料的界面力学

王超(哈尔滨工业大学,副教授)

以碳纳米管/碳纤维多尺度复合材料为研究对象,通过原位实验与理论相结合的方法揭示了其力学失效机理,国际上首次测量出了单根碳纳米管与碳纤维之间的接枝强度。在此基础上,建立了这一力学参数的理论预测模型,也建立了碳纳米管从基体中倾斜拔出的理论模型。以纳米线组装而成的纤维为研究对象,通过结构优化设计制备出高强碳纳米管纤维,并且利用粗粒化模拟方法揭示了其力学增强机理,在此基础上,理论上设计出一种以单根碳链为基础的超强纳米纤维,并考察了其拉伸力学行为,建立了连续理论力学预测模型。

(中国复合材料学会赵崢整理)

(责任编辑 王丽娜)