金属所制备出耐超高温隔热-承载一体化轻质碳基复合材料

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/18269.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近日，中国科学院金属研究所热结构复合材料团队采用高压辅助固化-常压干燥技术，通过基体微结构控制、纤维-基体协同收缩、原位界面反应制备出耐超高温隔热-承载一体化轻质碳基复合材料。

航天航空飞行器在发射和再入大气层时，因“热障”引起的极端气动加热，震动、冲击和热载荷引起的应力叠加，以及紧凑机身结构带来的空间限制，给机身热防护系统带来了异乎寻常的挑战，亟需发展耐超高温并兼具良好机械强度的新型隔热材料。碳气凝胶（CAs）因其优异的热稳定性和热绝缘性，有望成为新一代先进超高温轻质热防护系统设计的突破性解决方案。然而，CAs高孔隙以及珠链状颗粒搭接的三维网络结构致使其强度低、脆性大、大尺寸块体制备难，限制了其实际应用。国内外普遍采用碳纤维或陶瓷纤维作为增强体，以期提升CAs的强韧性及大尺寸成型能力。然而，由于碳纤维或陶瓷纤维与有机前驱体气凝胶炭化收缩严重不匹配，导致复合材料出现开裂甚至分层等问题，使材料的力学和隔热性能显著下降。目前，发展耐超高温、高效隔热、高强韧的CAs材料及其大尺寸可控制备技术仍面临巨大挑战。

超临界干燥是CAs的主流制备技术，其工艺复杂、成本高、危险系数大。近年来，研究团队相继发展了溶胶凝胶-水相常压干燥（小分子单体为反应原料）、高压辅助固化-常压干燥（线性高分子树脂为反应原料）2项CAs制备技术。为了实现前驱体有机气凝胶和增强体的协同收缩，该团队设计了一种超低密度碳-有机混杂纤维增强体，其碳纤维盘旋扭曲呈“螺旋状”，有机纤维具有空心结构，单丝相互交叉呈“三维网状”，赋予其优异的超弹性。该超弹增强体的引入可大幅降低前驱体有机气凝胶干燥和炭化过程的残余应力，进而可获得低密度、无裂纹、大尺寸轻质碳基复合材料。该材料可实现大尺寸样件（300mm以上量级）的高效、低成本制备，并具有低密度（0.16g cm^{-3}）、低热导率（0.03W m^{-1} K^{-1}）和高压缩强度(0.93MPa)等性能。相关成果发表在*Carbon*上。

在此基础上，该团队以工业酚醛树脂为前驱体，采用高沸点醇类为造孔剂并辅以高压固化，促使有机网络的均匀生长及大接触颈、层次孔的生成，实现了骨架本征强度的提升，同时采用与前驱体有机气凝胶匹配性好的酚醛纤维作为增强体，通过纤维/基体界面原位反应，实现了炭化过程中基体和纤维的协同收缩及纤维/基体界面强的化学结合，最终获得了大尺寸、无裂纹的碳纤维增强类CAs复合材料。该材料密度为0.6g cm^{-3}时，其压缩强度及面内剪切强度分别可达80MPa和20MPa，热导率仅为0.32W m^{-1} K^{-1}，其比压缩强度（133MPa g^{-1} cm^{3}

）高于已知文献报道的气凝胶材料和碳泡沫。材料厚度为7.5－12.0mm时，正面经1800 ° C、900s氧乙炔火焰加热考核，背面温度仅为778－685 ° C，且热考核后线收缩率小于0.3%，具有更高的力学强度，表现出优异的耐超高、隔热和承载性能。相关成果于近日在线发表在*ACS Nano*上。

上述隔热-承载一体化轻质碳基复合材料作为刚性隔热材料在多个先进发动机上装机使用，为型号发展提供了关键技术支撑。研究工作得到国家自然科学基金委重点联合基金、优秀青年基金、青年科学基金等项目的支持。

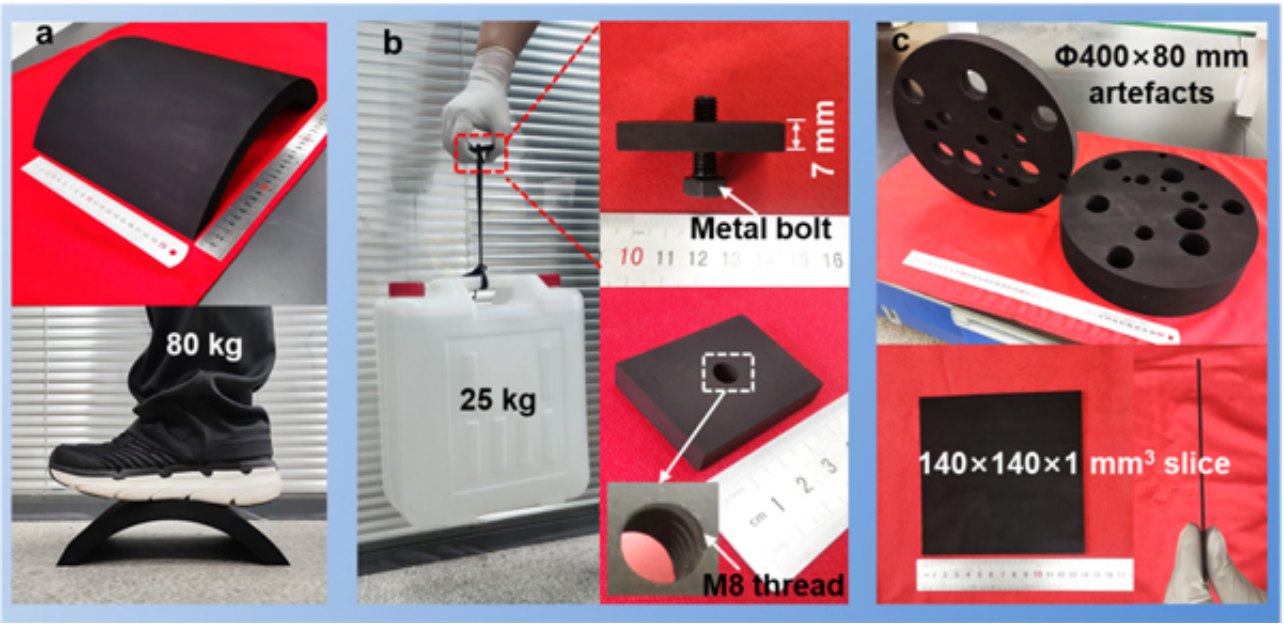


图1轻质碳基复合材料表现出优异的承载能力、抗剪切能力以及大尺寸成型能力

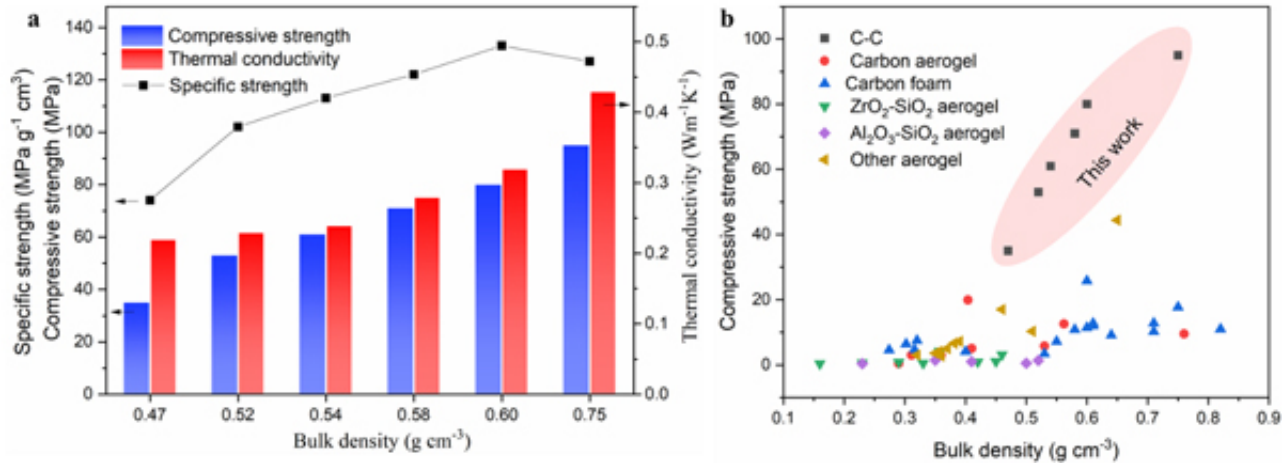


图2高压辅助固化-常压干燥可实现较大密度范围轻质碳基复合材料的制备，其压缩强度显著高于文献报道的气凝胶和碳泡沫

研究团队单位：金属研究所

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发