中国材料大会 2025
暨新材料科研仪器与设备展

7 月 5-8 日, 2025

福建 厦门

D24-陶瓷纤维及其复合技术
D24-Ceramic Fiber and Its Composite Technology

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: https://cmc2025.scimeeting.cn

D24. 陶瓷纤维及其复合技术

分会主席：刘海韬、王应德、周新贵、马青松、刘东青

D24-01

分会开场

刘海韬*
国防科技大学

D24-02

人才引进交流

艾书周*
国防科技大学

D24-03

高性能纤维研究进展

王小宙*
国防科技大学

D24-04

含 BN 涂层高性能陶瓷纤维的制备及其性能评价

黄祥贤*
福建立亚新材有限公司

高性能陶瓷纤维增强陶瓷基复合材料（SiC-CMC 和 Si_3N_4-CMC）作为新型战略性热结构材料，具有高强度、低密度、耐高温、抗氧化等优异特性，成为先进发动机热端结构件或高马赫数飞行器雷达天线罩等的理想增强材料。高性能陶瓷纤维发挥增强作用的关键在于纤维与基体之间的过渡区域—界面相。目前，国内外尚无含涂层 SiC 纤维、Si_3N_4 纤维的产业化报导。本研究通过原位涂层法，反应气体直接与纤维表层反应制备出结晶度高、厚度均匀的六方氮化硼涂层（h-BN）。结果表明：涂层后纤维依旧保持高强度且单丝直径不增加；BN-SiC 纤维经 1650℃高温热处理后强度保留率在 49%以上，而 BN-Si_3N_4 纤维经 1500℃高温热处理后强度保留率在 57%以上，因此原位 h-BN 涂层具有提高纤维高温力学性能的作用。

D24-05

吸波型陶瓷纳米纤维的制备、微结构设计与电磁性能优化

侯翼*1，王丽熙 1，成来飞 2
1. 南京工业大学
2. 西北工业大学

汇报人以静电纺丝和高温热处理为核心工艺，制备了包含 SiC、C、SiOC 等一系列陶瓷纳米纤维材料，通过微结构设计、第二相杂化、取向设计、分层阻抗匹配设计等多种微观-宏观调控方式实现了陶瓷纳米纤维的吸波性能优化。本汇报将从（1）陶瓷纤维纳米化与柔韧化、（2）结构设计与吸波性能优化、（3）耐高温与吸波性能兼容、（4）宽频吸波理论设计模型四个方面阐述相关研究进展。

D24-06

高性能纤维绳网及其结构功能一体化设计

刘可帅*
武汉纺织大学

D24-07

冰模板法制备气凝胶纤维及其复合化与陶瓷化

赵爽、李肖华、杨自春*
海军工程大学

气凝胶纤维兼具三维纳米多孔微观结构和一维宏观纤维形貌，被认为是新一代纤维绝热材料。本研究提出了一种气凝胶纤维的冰模板法制备策略，首先通过溶胶凝胶工艺得到介孔均匀分布的聚硅氧烷水凝胶，然后利用冷冻过程中柱状冰晶的生长实现块状到纤维状的解构，最后常压干燥得到聚硅氧烷气凝胶纤维。该方法具有低成本、工艺简单、环境友好、可大规模制备等优点。

聚硅氧烷气凝胶纤维呈白色绒毛状，长径比为 800~1000，表面活性剂作为软模板有效保留了内部介孔结构，平均孔径分布于 7.1~17.2nm之间，比表面积为 493.8~694.4m^2/g。丰富的甲基封端赋予了气凝胶纤维良好的柔性和超疏水性，最小弯曲半径约为 1mm，疏水角为 150.4~154.3 °。通过物理堆叠法可将气凝胶纤维组装成不同形状的块体，气凝胶纤维组装体具备良好的压缩回弹性能、绝热性能和吸声性能，50%压缩应变下回弹率达 80%，常温导热系数为 25~29mW/(m·K)，6cm厚度组装体在 630~6300Hz区间内的吸声系数超过 0.90，降噪系数可达 0.79，属于II级吸声材料。

以聚硅氧烷气凝胶纤维为增强体，通过溶胶浸渍-超临界干燥工艺制备了气凝胶纤维增强气凝胶基体复合材料。复合材料显示了优异的力学性能，压缩模量、弯曲模量和拉伸模量分别达到 1.32MPa，9.93MPa 和 17.0MPa。此外，复合材料具有优异的绝热性能、隔声性能和阻燃性能，常温导热系数为 20~23mW/(m·K)，6cm厚复合材料的平均隔声量达到 29.81dB，放热能力（HRC）为 8.7~37.4J/(g·K)，热释放速率（HRR）为 8.7W/g，属于V-0 级阻燃材料。

通过梯度升温煅烧法实现了聚硅氧烷气凝胶纤维的陶瓷化。煅烧过程中，甲基等有机成分被去除，无定形硅氧烷网络转变为稳定的多晶二氧化硅网络，介孔结构则被保留。陶瓷气凝胶纤维显示了低密度、低导热率和高温稳定性，密度在 10~300mg/cm^3 之间可调，导热系数在 0.010~0.030W/(m·K)之间可调，初始分解温度超过 1000℃，在高温绝热领域应用前景广阔。

D24-08

先驱体转化法含铪碳化硅陶瓷纤维的制备与性能研究

陈建军*、陆俊冲
浙江理工大学

近几年，通过先驱体中引入异质元素提升碳化硅纤维高温稳定性的受到研究者的关注。研究以液态聚碳硅烷(LPCS)和乙酰丙酮铪(Hf(AcAc)4)作为原料制备了聚铪碳硅烷先驱体，并通过空气不熔化和裂解烧结工艺制备了Si-Hf-C-O纤维。探究Si-Hf-C-O纤维的组成、结构及性能演变。研究结果表明，Si-Hf-C-O纤维呈现典型的海洋岛屿结构，主要以无定形的SiC_xO_y相、自由碳及SiC组成，β-SiC微晶分散在其中，Hf以Hf-O的形式存在。纤维表面光滑，截面致密，Si-Hf-C-O纤维平均抗拉强度为 1.84 GPa，平均直径 15.8 m。
探究了不同热处理温度下 Si-Hf-C-O 纤维的组分与微观结构演化过程。结果表明，1200 ℃ 处理后的 Si-Hf-C-O 纤维呈现出无定形的特征；1400 ℃处理下开始出现 SiC 和 HfC，纤维中可以明显观察到-SiC 衍射峰；1600 ℃ 处理后出现了立 方 HfC 结晶峰；1900 ℃处理时，Hf-O 键逐步转变为 Hf-C 键，促进 HfC 结晶的形成。1400 ℃、1600 ℃、1900 ℃处理后 β-SiC 的(111)晶粒尺寸分别为 10.7 nm、10.9 nm 和 14.2 nm。Si-Hf-C-O 纤维在氩气条件下 1400 ℃、1600 ℃、1900 ℃温度处理的 Si-Hf-C-O 纤维强度分别 1.5 GPa、1.26 GPa、0.76 GPa，强度保留率分别为 81%、68%、41%。将 Si-Hf-C-O 纤维在空气条件经 1000 ℃ 氧化后的强度为 1.63 GPa，强度保留率为 89%；经 1200 ℃ 氧化后纤维表面没有形成 SiO2 氧化层，内部被氧化，强度为 1.17 GPa，强度保留率为 66%，1400 ℃ 氧化后的纤维表面生成 SiO2 的氧化层，强度为 1.08 GPa，强度保留率为 57%。研究对异质元素掺杂 SiC 纤维的制备及其耐温性能提升有一定的参考价值。

D24-09

国产氧化铝纤维高温演变规律与氧化铝基复合材料制备研究

向阳*
国防科技大学

D24-10

Cansas-3301 型 SiC 纤维的耐高温改性研究

宋婕[1,2]、张赛楠[1,2]、陈立富[1,2]、李思维*[1,2]
1. 厦门大学 材料学院 福建省先进材料重点实验室
2. 厦门大学 材料学院 高性能陶瓷纤维教育部重点实验室

针对航空发动机和核反应堆高温结构件对 SiC 纤维耐温性能提升的迫切需求，本研究以近化学计量比的 Cansas-3301 型 SiC 纤维为对象，采用表面涂层处理与高温连续热处理相结合的工艺，研究了纤维微观结构和高温性能的演变规律。结果表明，涂层能够有效抑制高温条件下纤维表面缺陷的形成；高温连续热处理促进了晶粒的适度长大与晶界纯化。采用该工艺制备的 SiC 纤维在高温环境下具有更优的强度保持率和抗蠕变性能，为提升 SiC 纤维的高温性能提供了新的研究思路与发展方向。

D24-11

连续 SiC 纤维高温蠕变行为及机理研究

周雪*
国防科技大学

连续 SiC 纤维具有高强度、高模量、耐高温、抗氧化、耐辐照等性能特点，是陶瓷基复合材料的重要增强体。在高温环境中，纤维蠕变影响纤维的尺寸稳定性和强度，加速复合材料裂纹的生长，降低其使用寿命。然而，目前国内仍缺乏 SiC 纤维在≥1600℃温度下均匀受热的拉伸蠕变行为及机理研究。本研究采用热端法对三种不同 SiC 纤维进行高温拉伸蠕变试验，并分析其微观结构演变和力学性能变化。本研究结果对连续 SiC 纤维在高温下的实际应用具有重要意义。

D24-12

高性能无机纤维编织过程力学损伤及成型技术研究

李文斌*
武汉纺织大学

高性能无机纤维具有高强度、高模量及优异耐高温性，已成为航空航天热防护系统、高温工业窑炉及高温烟尘过滤领域核心材料。然而其编织过程面临扭转、弯曲及摩擦等多维损伤，导致强度利用率不足 60%。通过跨尺度力学研究揭示损伤演化规律与编织工艺，结合多种纤维包缠复合工艺，降低编织损伤率、提高纱线强度利用率，为新一代高超声速飞行器热防护系统研制提供关键技术支撑。

D24-13

六方 BN 界面层水氧化研究

齐哲、陆子龙、杜博绅、王晗、焦健*
中国航发北京航空材料研究院

采用 CVD 工艺在 SiC 纤维为表面制备两种织构的 BN。在 700~1300℃进行水氧化处理，O_2 8%/H_2O 14%/N_2 78%，总气体流速 6cm/min。950℃或以上处理 0.5h 即可造成高织构 BN 近乎完全流失。700、800、900℃处理 0.5h，会造成 BN 流失 10%、36%以及 90%。低织构 BN 流失速度远高于高织构的 BN。采用高织构 BN 制备 MI 工艺 SiC/SiC 复合材料，并于 1300℃下进行 100h 以上的水氧持久试验。断口 BN 完全流失，距断口 2mm 以上 BN 普遍较为完整。由于致密的 SiC 基体的保护，复合材料中的 BN 水氧化速率远小于裸漏的 BN 涂层。但是，高温水氧环境持久试样失效的原因仍在于 BN 界面层流失后材料局部转化为脆性。

D24-14

皮芯结构 TaC@C 陶瓷纤维的熔盐法可控制备与应用探索

余艺平*、张子骏、王松

国防科技大学

以火箭发动机喉衬为代表的航空航天飞行器热端部件对材料的耐温能力提出了极高要求。碳纤维作为研制耐高温陶瓷基复合材料的关键原材料，其赋予了陶瓷基复合材料高强高韧的特性，但其仍存在高温易氧化的不足，严重限制了陶瓷基复合材料的抗氧化性能与使用寿命。本研究提出以碳纤维为模板，采用熔盐法使碳纤维表面原位反应转化成 TaC 涂层，利用 TaC 涂层提升碳纤维的抗氧化能力，进而获得一种抗氧化的皮芯结构 TaC@C 陶瓷纤维，重点研究了熔盐反应工艺条件对皮芯结构 TaC@C 陶瓷纤维组成结构的影响，分析了 TaC 涂层的熔盐生长机理。在此基础上，以皮芯结构结构 TaC@C 陶瓷纤维为原料，经铺排后直接进行放电等离子烧结而制备得到了一种高致密的 TaC 纤维烧结材料，该材料表现出优异的力学特性和抗烧蚀性能，有望是未来航空航天飞行器更高温热端部件的优良候选材料。

D24-15

C/C 复合材料超高温陶瓷涂层的智能设计与性能

孙佳*

西北工业大学

D24-16

SiC 纤维表面涂层的结构调控及其吸波性能研究

廖加林[1,2]、徐浩南[1,2]、李思维*[1,2]

1. 厦门大学 材料学院 福建省先进材料重点实验室

2. 厦门大学 材料学院 高性能陶瓷纤维教育部重点实验室

SiC 纤维因兼具优异的力学性能和可调的电磁性能，在新一代雷达隐身构件中具有重要的应用潜力。本研究以连续 SiC 纤维为基材，采用卤素高温反应法对纤维表面进行选择性刻蚀，使纤维表面形成了组分可变的原位富碳涂层。研究了表面涂层的成分变化对纤维性能的影响规律。通过调节刻蚀参数，可使纤维电阻率在 10^{6}-10^{-1} Ω·cm 范围内连续变化，所得纤维在 X 波段理论反射损耗低于-20 dB，同时该纤维保留了良好的力学性能。本研究为新一代吸波 SiC 纤维的研制提供了参考。

D24-17

氮化硅陶瓷增材制造及其性能调控

吴甲民*

华中科技大学

D24-18

增材制造陶瓷基复合材料的界面调控与性能

阎岳凯*

西北工业大学

D24-19

糖水凝胶热解碳的微纳结构演变及其在碳基复合材料中的应用

檀铭一*

哈尔滨工业大学

D24-20

3D 打印超高温陶瓷的烧蚀与隔热性能

曾毅*
中南大学

D24-21

SiC_f/SiC 复合材料包壳管的制备工艺研究

谭瑞轩*
湖南大学

D24-22

连续纤维增强陶瓷基复合材料的层间 I 型断裂韧性表征

张程煜*
西北工业大学

D24-23

航天飞行器防热需求及烧蚀防热材料研究进展

王其坤*
北京玻钢院复合材料有限公司

高效可靠的热防护系统事关高超音速飞行器研制的成败，本报告面向未来新型高超音速飞行器热防护材料的发展需求，梳理了国外、国内烧蚀防热材料的研究进展情况，重点介绍了北玻院在烧蚀防热材料研究方面的最新工作，并对未来先进树脂基烧蚀防热材料的应用前景及技术发展方向进行了展望。

D24-24

超高熔点陶瓷基复合材料设计优化及抗烧蚀机理研究

彭峥*
国防科技大学

D24-25

三维编织 C/SiC 复合材料环形构件的高温力学性能

邢宁、张程煜*
西北工业大学

随着 C/SiC 复合材料在航空航天发动机上的应用，C/SiC 复合材料构件的高温力学性能亟需研究。为此，本工作研究了先驱体浸渍裂解工艺制备的三维编织 C/SiC 环形构件在空气中的高温环向拉伸性能以及持久加载性能，拉伸温度为常温、600、800、1000 和 1200^{o}C，持久加载温度为 600、800、1000 和 1200^{o}C，应力为 15~55MPa。结果显示：在常温到 1200^{o}C 范围内，三维编织 C/SiC 环形构件的环向强度呈“先升（常温～600^{o}C）后降（600~800^{o}C）再升（800~1000^{o}C）再降（在 600~1200^{o}C）”的波动规律。在 600~1200^{o}C 范围内，持久加载寿命与温度、应力密切相关，随温度或应力升高而降低。温度越高，环形构件对应力的变化越敏感，这与碳化硅基体和碳纤维的氧化有关。

D24-26

三维氧化铝纤维织物增韧氧化铝复合材料的制备和微、宏观力学性能研究

陈晓菲、谷秋瑾、孙逊、吕鑫元、刘海韬*
国防科技大学

连续氧化铝纤维增韧氧化铝（Al_2O_3/Al_2O_3）复合材料在高温富氧、富含水汽的中等载荷工况下表现出显著的力学性能优势，在航空发动机和民用工业等领域具有广阔的应用前景。三维氧化铝纤维织物增韧氧化铝（3D-Al_2O_3/Al_2O_3）复合材料因其优异的结构整体性而备受关注。本文采用水性浆料浸渍-烧结新工艺

制备 3D-Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料，利用 XCT、SEM 等手段对复合材料微观形貌进行表征，分析浆料固含量和致密化周期数对 3D-Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料微、宏观力学性能的影响，对比研究 3D-Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料的经、纬向力学行为。结果表明：3D-Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料宏观力学性能主要受基体模量、纤维强度和孔隙率的影响。采用固含量为 40 vol.%的浆料、致密化周期数为 6 次制备得到的复合材料表现出较优的综合力学性能。其中，复合材料的经向弯曲强度为纬向弯曲强度的 63.1 %，而经向层间剪切强度为纬向层间剪切强度的 111.4 %。该研究对全面认识 Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料的力学行为和推动 Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料的体系发展具有重要意义

D24-27

耐极端环境电磁传输复合材料技术研究

李端*、崔楷敏、向天意、王衍飞、刘荣军

国防科技大学

高温透波材料是在高温下能有效传输电磁波的结构/功能一体化材料，在飞行器天线罩/窗、电子通讯等领域应用广泛。高速飞行器的飞行马赫数不断提高，位于其前端的天线罩通常面临高温高压、振动冲击、雨蚀/粒子蚀/辐射等极端环境，同时还要保障电磁信号的正常传输，这对天线罩材料的透波、承载、防热、耐蚀等性能提出了苛刻要求。现有耐高温透波材料体系主要包括单/复相陶瓷材料以及陶瓷基复合材料，其制备工艺包含有机先驱体浸渍-裂解、化学气相渗透、溶胶-凝胶、烧结法、凝胶注模以及 3D 打印等。本文基于团队在高温透波材料领域多年的经验积累，重点介绍了近十年在新型耐高温陶瓷基透波复合材料方向的研究工作，包括新材料体系、界面改性方法和高效成型工艺等，并对该方向在原材料低成本化、新材料高效预测、服役性能原位表征等方面的发展趋势做了展望。

D24-28

轻质碳基复合材料表面梯度陶瓷层制备策略

胡成龙*

中国科学院金属所

D24-29

连续纤维多孔结构的熔体渗吸过程仿真研究

代吉祥*、师艳、李小虎、沙建军

大连理工大学

连续纤维多孔结构具有网络结构复杂、孔径尺寸跨度大和孔隙率高等特点，利用金属熔体在多孔结构中的自发渗吸反应过程可以制备连续纤维增韧的陶瓷基复合材料。目前大量研究集中在渗吸工艺过程的实验观测层面，本研究采用理论分析和数值仿真方法，对连续纤维多孔结构中的熔体渗吸过程进行解析，构建耦合渗流场、温度场和化学场的多场模型，分析多孔体复杂结构对熔体渗吸行为的影响，考虑不同孔道之间的连通性，构建不同孔隙结构模式和熔体渗吸效率之间的影响关系，重点分析反应性高温熔体渗吸过程中碳基界面与熔体之间的作用机制，提出适合自发渗吸过程的反应层生长模型，并和实验值进行对比分析。本研究提出的熔体自发渗吸的理论和数值仿真方法可以为连续纤维多孔结构致密化工艺优化提供理论依据。

D24-30

糖碳转化法制备碳涂层及 C_f/ZrB_2-SiC 复合性能研究

王鹏*

Shandong University of Technology

以葡萄糖为前驱体，通过水热焦糖化和热解法，在碳纤维表面合成了均匀致密的碳涂层。采用注浆和真空浸渍法制备了坯体，通过热压烧结制备了 C_f/ZrB_2-SiC 复合材料。研究了反应压力和葡萄糖浓度对碳涂层形貌的影响，研究了糖碳转化机理和 KCl 催化碳结构的生成机理，研究了浆料稳定性影响因素和规律。

研究了 C_f/ZrB_2-SiC 复合材料的其微观结构、力学性能、抗氧化和抗烧蚀性能。碳涂层的引入显著提升了 C_f/ZrB_2-SiC 复合材料的性能，断裂韧性、断裂功、临界热温差为 6.09 MPa $m^{1/2}$、661.3 J/m^2 和 699.32 ℃，且表现出良好的抗烧蚀性能。

D24-31

国产三代 Mini-SiCf/SiC 复合材料的高温氧化与蠕变性能

王佳璇、张程煜*
西北工业大学

本工作研究了国产三代 Mini-SiC_f/SiC 复合材料在空气环境中的高温氧化与拉伸蠕变性能，氧化条件为 1300-1500℃、100h,蠕变条件为 1300-1400℃、94-197MPa。为揭示高温氧化与蠕变损伤机理，对氧化后及长时蠕变后的试样开展剩余拉伸强度测试。利用扫描电子显微镜与能谱分析仪分析了断口形貌与元素分布，并结合拉曼光谱、微纳力学测试技术分析了化学组成变化与性能退化规律。结果表明：随着氧化温度升高，国产三代 Mini-SiC_f/SiC 复合材料增重率增加，基体表面及内部开放孔处 SiO_2相生成增多，剩余拉伸强度降低、分散性增大；1300℃时界面与纤维之间形成环形裂纹，界面剪切强度最低；1400℃与 1500℃时硅酸盐玻璃相填充裂纹。相同温度下，国产三代 Mini-SiC_f/SiC 复合材料的蠕变应变随应力水平的提高而增大，温度越高，蠕变应变随应力变化的幅度越明显；剩余拉伸强度的降低与蠕变后界面强结合和纤维轴向残余拉应力有关。

D24-32

C/SiOC 复合材料的制备与性能研究

郭蕾、马青松*
国防科技大学

聚硅氧烷(Polysiloxane, PSO)衍生得到的 SiOC 陶瓷及其复合材料是一类具有高性价比的轻质耐高温结构材料。其中，C/SiOC 复合材料因具有耐高温、高比强度、耐腐蚀等优异特性，在火箭发动机喷管扩张段、飞行器表面热防护系统等方面具有广阔的应用前景。然而，面向实际应用，C/SiOC 复合材料还存在一些关键技术问题和应用基础问题需要研究解决。

本文通过对 PSO 进行异质元素掺杂和先驱体催化裂解，对基体进行改性，提高 C/SiOC 的高温服役稳定性及功能特性，为实际应用奠定理论基础。首先，以不同苯基/甲基比的硅树脂(MK、SR249、SR220)为原料，通过先驱体转化制备 SiOC 陶瓷，研究了陶瓷随温度的组成、结构演化规律，结果表明，苯基/甲基比高的硅树脂制备的 SiOC 陶瓷的碳热还原激活温度及氧化温度越低。在此基础上，系统研究了异质元素 Y 改性 SiOC 陶瓷及 C/SiOC 复合材料在不同高温环境中组成与结构的演变行为，研究表明，Y 的引入可以有效提升 SiOC 陶瓷及复合材料的耐高温性能。最后，开展了先驱体催化裂解制备 C/SiOC 复合材料研究，建立了催化裂解制备 C/SiOC 复合材料的 PIP 工艺路线，提升了复合材料的力学性能与热稳定性，改善了摩擦磨损功能特性，实现了催化裂解在 C/SiOC 复合材料中的应用。

D24-33

C/Ta_4HfC_5-SiC 复合材料制备及结构性能研究

万帆*
国防科技大学

D24-34

极端服役环境 X 显微原位 CT 在陶瓷材料及复合领域的应用

李仁庚*
微旷科技（苏州）有限公司

D24-35

基于 X-CT 的氮化硼基复合材料先驱体浸渍裂解法制备及其致密过程和机理分析

陈雨洁、万帆*

国防科技大学 空天科学学院 新型陶瓷纤维及其复合材料重点实验室

本文采用 X 射线计算机断层扫描（XCT）技术，系统表征了 Si_3N_4-C_f/BN 复合材料在先驱体浸渍裂解（PIP）过程中微观结构的演变。特别地，分析了基体与孔隙在 PIP 过程中随时间变化的演变规律，并总结了基体在这一过程中对孔隙的填充机制。在此基础上，结合孔隙网络模型、渗流模型及绝对渗透率的变化，进一步探讨了 Si_3N_4-C_f/BN 复合材料在 PIP 致密化过程中所涉及的机理。研究结果为相关复合材料的优化制备提供了理论依据和实验参考

D24-36

溶胶衍生纤维编织陶瓷基复合材料孔隙演化的 4D 成像

邓归航、郭蕾、马青松*

国防科技大学

液相基体先驱体衍生连续纤维增强陶瓷基复合材料（CMCs）的高孔隙率，是长期以来限制了其力学性能和应用的关键难题。提出了一种将原位固化与毛细压力诱导自聚集相结合的创新策略，实现了对溶胶衍生基体的动态调控，从而填充 2.5D 纤维编织结构中的多尺度孔隙。优化溶胶-浸渍-热处理（SIH）路径制得 2.5D SiC_f/YAG 复合材料的孔隙率大幅降低，弯曲性能显著提高。采用 XCT 和深度学习技术表征了贯穿重复 SIH 循环过程中的孔隙演变，并相应建立了孔隙填充机制。本工作为液态前驱体衍生陶瓷基复合材料的孔隙调控提供了新的见解，为航空航天领域高性能热结构部件的开发提供了指导。

D24-37

半赫斯勒热电材料优化设计研究

付晨光*

浙江大学

D24-38

界面分子工程调控功能复合材料热物性

林悦*

中国科学院福建物质结构研究所

应用于先进热管理技术的热学功能复合材料往往具有复杂的界面结构，正确理解表界面物理化学对声子/电子输运特性的影响至关重要。本报告包含:（1）纳米材料界面工程:本报告将介绍如何以石墨烯、碳纳米管等纳米材料为“手术刀”精准调制材料的界面特性，以调控钛酸锶、锑化镁、碲化铅等无机材料的热电性能;（2）非共价键界面工程：本报告将介绍如何利用氢键等非共价相互作用键调制界面热阻，以调制硅橡胶、聚氨酯等有机材料的热学性能。该系列工作提出了通过异质界面调控能源材料、微纳电子器件、以及纳米热输运的新机制。

D24-39

铜基硫属材料热输运和电输运研究及性能优化

陈弘毅*

中南大学

铜基硫属热电材料，廉价、环境友好、是一种热电转换性能优异的高温热电材料。但目前这种材料在中低温区的电输运性能较差，热导率不够低，导致中低温区热电转换效率低，极大的限制了铜基硫属热电的应用。因此我们尝试通过晶格结构调控、第二相复合、相变等方法来优化其中热输运和电输运性能。通过化学键调控相变焓，将 Cu_2S 的相变温度从 700K 下降至 400K，实现了中温区高对称立方结构，大幅提高了 Cu_2S 的中低温区电输运性能。通过 S，Te 掺杂调控第二相的能带和声子谱结构，在保持 Cu_2Se 电子

迁移率的同时，通过第二相射声子，大幅降低了热导率，在 850K 下实现了 2.04 的 zT 值。通过调节 Cu_2Se 相变过程中的能带宽化和光学声子软化，协同优化相变热输运和电输运性能，在 400K 附近的相变过程中 zT 值达到了 1.3。这些研究为铜基硫属热电材料中低温区热电优化提供了思路。

D24-40

硅-氧相包覆聚酰亚胺气凝胶热防护材料结构设计

张思钊*

江西理工大学

D24-41

Superhard B_4C-based composites with multifunctionality

Shuaihang Qiu[1],Ji Zou*[1],Yanchun Zhou[2],Zhengyi Fu[1]

1. Wuhan University of Technology

2. Zhengzhou University

Materials with excellent electromagnetic interference (EMI) shielding properties are desired for various structural and functional applications. Compared to mostly investigated polymers, dense ceramics are harder and own better high temperature capability, but their EMI shielding properties and shielding mechanisms had been poorly investigated. In this study, a series of light-weight B_4C-$(Ti_{1-x}Cr_x)B_2$ (x = 0, 0.1, 0.3, 0.5 and 1, BTCs) composites were reactively densified. Concomitantly with good load-bearing capabilities and high hardness, as-obtained BTCs could effectively shield EMI in X band from room temperature to 700 ℃. Especially, after incorporating Cr into TiB_2, the composites exhibit an enhanced absorption loss. By intentional heat treatments to tailor dislocation densities in BTCs, the enhancements in absorption loss were identified, which were associated with the increased polarizations caused by high-density dislocations in diborides. Among these composites, B_4C-$(Ti_{0.9}Cr_{0.1})B_2$ with a low density (3.3 g/cm^3), high hardness (~44 GPa) and modulus (464 GPa) exhibits the best specific EMI shielding performance (~44 dB cm^2 g^{-1}), which slightly worsens at 700 ℃ (~30 dB cm^2 g^{-1}) but still guarantees an EMI shielding efficiency of ~99.9% alongside high absorption loss. This work not only opens a window of functional applications at high temperatures for B4C-TiB_2 based composites, but also demonstrates element incorporating and dislocation regulation can significantly enhance EMI shielding performance of materials, especially absorption loss, providing a valuable strategy for developing high-performance ceramics with multifunctionality.

D24-42

3DN C/$Y_2Si_2O_7$ 复合材料的制备与性能研究

曾宽宏、马青松*、张伟、王为得

国防科技大学

$Y_2Si_2O_7$ 陶瓷具有较低的密度、氧扩散系数、热导率和热膨胀系数以及优异的高温稳定性而被认为是当前十分有前景的高温结构材料之一。然而其较低的弯曲强度与断裂韧性使得 $Y_2Si_2O_7$ 陶瓷在高温结构领域受到极大应用限制。因此针对该问题，本研究采用低成本的三维碳纤维针刺毡预制件作为增强体，以纳米粒径、低粘度和高固相含量的 Y_2O_3-SiO_2 双相溶胶作为基体前驱体，通过溶胶-浸渍-热处理技术，经 24 周期致密化处理后，制备得到弯曲强度和断裂韧性分别为 164 MPa 和 8.9 MPa $m^{1/2}$的三维碳纤维针刺毡增强 $Y_2Si_2O_7$（3DN C/$Y_2Si_2O_7$）复合材料，该复合材料较单体 $Y_2Si_2O_7$ 陶瓷的弯曲强度和断裂韧性分别提升了 21.5%和 445%。并对复合材料在高温下的热稳定性能和抗氧化性能进行了考察，结果表明：由于碳纤维与基体之间较好的理化相容性，3DN C/$Y_2Si_2O_7$ 复合材料能够在 1500 ℃ 惰性气氛中热处理 1 h 后保持弯曲性能不下降；而在空气中，由于 $Y_2Si_2O_7$ 基体对碳纤维的致密保护，3DN C/$Y_2Si_2O_7$ 复合材料在 1400 ℃ 氧化 30 min 后弯曲强度保留率仍能达到 103%。被强化的室温力学性能和良好的热稳定性能以及较好的高温抗氧化性能使得 3DN C/$Y_2Si_2O_7$ 复合材料在高温结构领域中具有更广泛的应用前景。

墙报

D24-P01

基于 X-CT 的氮化硼基复合材料先驱体浸渍裂解法制备及其致密过程和机理分析

陈雨洁、万帆*
国防科技大学

本文采用X射线计算机断层扫描（XCT）技术，系统表征了Si_3N_{4f}-C_f/BN复合材料在先驱体浸渍裂解（PIP）过程中微观结构的演变。特别地，分析了基体与孔隙在PIP过程中随时间变化的演变规律，并总结了基体在这一过程中对孔隙的填充机制。在此基础上，结合孔隙网络模型、渗流模型及绝对渗透率的变化，进一步探讨了Si_3N_{4f}-C_f/BN复合材料在PIP致密化过程中所涉及的机理。研究结果为相关复合材料的优化制备提供了理论依据和实验参考

D24-P02

Cansas-3301 型 SiC 纤维的耐高温改性研究

宋婕[1,2]、张赛楠[1,2]、陈立富[1,2]、李思维*[1,2]
1. 厦门大学 材料学院 福建省先进材料重点实验室
2. 厦门大学 材料学院 高性能陶瓷纤维教育部重点实验室

针对航空发动机和核反应堆高温结构件对 SiC 纤维耐温性能提升的迫切需求，本研究以近化学计量比的 Cansas-3301 型 SiC 纤维为对象，采用表面涂层处理与高温连续热处理相结合的工艺，研究了纤维微观结构和高温性能的演变规律。结果表明，涂层能够有效抑制高温条件下纤维表面缺陷的形成；高温连续热处理促进了晶粒的适度长大与晶界纯化。采用该工艺制备的 SiC 纤维在高温环境下具有更优的强度保持率和抗蠕变性能，为提升 SiC 纤维的高温性能提供了新的研究思路与发展方向。

D24-P03

三维氧化铝纤维织物增韧氧化铝复合材料的制备和微、宏观力学性能研究

陈晓菲、谷秋瑾、孙逊、吕鑫元、刘海韬*
国防科技大学

连续氧化铝纤维增韧氧化铝（Al_2O_3/Al_2O_3）复合材料在高温富氧、富含水汽的中等载荷工况下表现出显著的力学性能优势，在航空发动机和民用工业等领域具有广阔的应用前景。三维氧化铝纤维织物增韧氧化铝（3D-Al_2O_3/Al_2O_3）复合材料因其优异的结构整体性而备受关注。本文采用水性浆料浸渍-烧结新工艺制备 3D-Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料，利用 XCT、SEM 等手段对复合材料微观形貌进行表征，分析浆料固含量和致密化周期数对 3D-Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料微、宏观力学性能的影响，对比研究 3D-Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料的经、纬向力学行为。结果表明：3D-Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料宏观力学性能主要受基体模量、纤维强度和孔隙率的影响。采用固含量为 40 vol.%的浆料、致密化周期数为 6 次制备得到的复合材料表现出较优的综合力学性能。其中，复合材料的经向弯曲强度为纬向弯曲强度的 63.1 %，而经向层间剪切强度为纬向层间剪切强度的 111.4 %。该研究对全面认识 Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料的力学行为和推动 Al_2O_3/Al_2O_3 复合材料的体系发展具有重要意义

D24-P04

溶胶衍生纤维编织陶瓷基复合材料孔隙演化的 4D 成像

邓归航、郭蕾、马青松*
国防科技大学

液相基体先驱体衍生连续纤维增强陶瓷基复合材料（CMCs）的高孔隙率，是长期以来限制了其力学性能和应用的关键难题。提出了一种将原位固化与毛细压力诱导自聚集相结合的创新策略，实现了对溶胶衍生基体的动态调控，从而填充 2.5D 纤维编织结构中的多尺度孔隙。优化溶胶-浸渍-热处理（SIH）路径制得 2.5D SiC_f/YAG 复合材料的孔隙率大幅降低，弯曲性能显著提高。采用 XCT 和深度学习技术表征了贯

穿重复 SIH 循环过程中的孔隙演变，并相应建立了孔隙填充机制。本工作为液态前驱体衍生陶瓷基复合材料的孔隙调控提供了新的见解，为航空航天领域高性能热结构部件的开发提供了指导。

D24-P05

SiO_2/SiO_2 陶瓷基复合材料蜂窝结构的溶胶凝胶成型方法和性能研究

赵文晨*

国防科技大学

D24-P06

连续 SiC 纤维高温蠕变行为及机理研究

周雪*

国防科技大学

连续 SiC 纤维具有高强度、高模量、耐高温、抗氧化、耐辐照等性能特点，是陶瓷基复合材料的重要增强体。在高温环境中，纤维蠕变影响纤维的尺寸稳定性和强度，加速复合材料裂纹的生长，降低其使用寿命。然而，目前国内仍缺乏 SiC 纤维在≥1600℃温度下均匀受热的拉伸蠕变行为及机理研究。本研究采用热端法对三种不同 SiC 纤维进行高温拉伸蠕变试验，并分析其微观结构演变和力学性能变化。本研究结果对连续 SiC 纤维在高温下的实际应用具有重要意义。

D24-P07

SiC 纤维表面涂层的结构调控及其吸波性能研究

廖加林[1,2]、徐浩南[1,2]、李思维*[1,2]

1. 厦门大学 材料学院 福建省先进材料重点实验室

2. 厦门大学 材料学院 高性能陶瓷纤维教育部重点实验室

SiC 纤维因兼具优异的力学性能和可调的电磁性能，在新一代雷达隐身构件中具有重要的应用潜力。本研究以连续 SiC 纤维为基材，采用卤素高温反应法对纤维表面进行选择性刻蚀，使纤维表面形成了组分可变的原位富碳涂层。研究了表面涂层的成分变化对纤维性能的影响规律。通过调节刻蚀参数，可使纤维电阻率在 10^{6}-10^{-1} Ω·cm 范围内连续变化，所得纤维在 X 波段理论反射损耗低于-20 dB，同时该纤维保留了良好的力学性能。本研究为新一代吸波 SiC 纤维的研制提供了参考。

D24-P08

3DN C/$Y_2Si_2O_7$ 复合材料的制备与性能研究

曾宽宏、马青松*、张伟、王为得

国防科技大学

$Y_2Si_2O_7$ 陶瓷具有较低的密度、氧扩散系数、热导率和热膨胀系数以及优异的高温稳定性而被认为是当前十分有前景的高温结构材料之一。然而其较低的弯曲强度与断裂韧性使得 $Y_2Si_2O_7$ 陶瓷在高温结构领域受到极大应用限制。因此针对该问题，本研究采用低成本的三维碳纤维针刺毡预制件作为增强体，以纳米粒径、低粘度和高固相含量的 Y_2O_3-SiO_2 双相溶胶作为基体前驱体，通过溶胶-浸渍-热处理技术，经 24 周期致密化处理后，制备得到弯曲强度和断裂韧性分别为 164 MPa 和 8.9 MPa $m^{1/2}$的三维碳纤维针刺毡增强 $Y_2Si_2O_7$（3DN C/$Y_2Si_2O_7$）复合材料，该复合材料较单体 $Y_2Si_2O_7$ 陶瓷的弯曲强度和断裂韧性分别提升了 21.5%和 445%。并对复合材料在高温下的热稳定性能和抗氧化性能进行了考察，结果表明：由于碳纤维与基体之间较好的理化相容性，3DN C/$Y_2Si_2O_7$ 复合材料能够在 1500 ℃ 惰性气氛中热处理 1 h 后保持弯曲性能不下降；而在空气中，由于 $Y_2Si_2O_7$ 基体对碳纤维的致密保护，3DN C/$Y_2Si_2O_7$ 复合材料在 1400 ℃ 氧化 30 min 后弯曲强度保留率仍能达到 103%。被强化的室温力学性能和良好的热稳定性能以及较好的高温抗氧化性能使得 3DN C/$Y_2Si_2O_7$ 复合材料在高温结构领域中具有更广泛的应用前景。