

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

C11-航空材料
C11-Aeronautical Materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



C11. 航空材料

分会主席：戴圣龙、甄良、程兴旺、张显程

C11-01

直升机防护材料应用现状及需求

专家

中国直升机设计研究所

本报告以直升机起源、装备发展历程、装备特点、应用场景及材料应用总体情况为切入点。结合装备服役过程中因防护不足导致的各类问题，明确防护材料对于保障直升机安全、可靠服役的重要性。详细阐述了国内外直升机服役自然环境(雷电、海洋、沙尘、极寒、热防护)防护用材料应用现状，战场环境(防弹、防爆、高能激光、复杂电磁环境)防护用材料应用现状。从国内外直升机装备发展趋势，结合国内航空材料技术发展现状分别从减重、防护能力提升等方面系统梳理了直升机用各类防护材料需求和未来发展趋势。

C11-02

航空液压系统用管材和连接应用

专家

航空工业第一飞机设计研究院

航空液压系统用管路的国内外应用情况，钛合金、不锈钢、铝合金管材的技术要求，管路连接件的技术要求，应用考核要求等。

C11-03

航空结构材料简介

专家

沈阳飞机工业（集团）有限公司

介绍了航空金属材料、非金属材料以及复合材料的应用现状，提出了部分材料在工程应用中存在的技术难题，以及希望达到的标准要求；结合航空飞行器的结构特点、性能特点，提出了结构材料发展需求以及相关工艺的研究需求。

C11-04

航空发动机材料应用研究需求

师俊东

中国航发沈阳发动机研究所

介绍航空发动机的发展，航空发动机的结构特点，航空发动机的选材原则与要求，典型结构件的选材需求，服役发动机材料的问题和后续发展建议。

C11-05

关于航空关键材料组织与力学性能关系的一些思考

马朝利

北京航空航天大学

航空材料的力学性能很大程度上取决于材料的（微观）组织结构，本报告从材料组织结构的离散与连续性的角度，以微观损伤（断裂）力学与连续介质力学的观点考察航空材料组织与性能的关系，再认识材料成分设计、组织优化的关键要素。

C11-06**高性能航空铝合金研制与应用**

陈军洲

中国航发北京航空材料研究院

介绍了航空铝合金材料发展历程,应用背景、情况和趋势。结合先进航空飞行器对高性能铝合金的迫切需求,重点介绍超高强/耐损伤铝合金研制与应用、超大规格锻件用高强韧铝合金研制与应用、超大规格厚板用超高强铝合金研制与应用等方面的研究情况,并提出下一步研究重点。

C11-07**轻质高性能镁合金在航空领域研究应用进展**

吴国华

上海交通大学

镁合金是实际应用中最轻的金属结构材料,在航空航天、低空飞行器、轨道交通、汽车等领域具有广阔的应用前景,在很多金属趋于枯竭的今天,加速镁合金材料的应用开发是实现可持续发展的重要措施之一。当前,镁合金材料虽得到迅猛发展,但仍存在一些不足,制约着镁合金的进一步大规模推广应用。

本报告介绍了镁合金材料研究与应用发展历程,包括镁合金在航空航天装备、航空发动机、低空飞行器等领域的应用情况。重点介绍了高性能铸造镁稀土合金材料及其铸造技术在航空航天大型复杂构件上的应用进展。阐述了高性能镁稀土合金制备与成形过程中,面临的主要挑战及一些关键应用技术瓶颈与对策,包括:高品质镁合金熔体处理、镁铸件的质量与尺寸控制、镁合金的焊接等方面。还介绍了上海交大镁合金在航空航天领域最新研究与应用成果,最后对高性能镁合金发展过程中的共性问题与未来发展趋势进行了展望。

C11-08**轻质高温 TiAl 合金在航空领域的应用和挑战**

林均品

北京科技大学

TiAl 合金是替代高温合金 650-900C 温度范围内减重的唯一候选材料,4822-TiAl 铸造合金低压涡轮叶片在波音 787、747、A320 等民用飞机上应用已经 15 年了,虽然 45xd-TiAl 合金在我国航空发动机首次地面试验成功,但是我国目前还没有真正意义上的实际应用。影响 TiAl 合金工业应用的主要障碍表现在三方面:一方面 TiAl 合金具有本征脆性,造成制备加工难度大、成品率低;二是高温长时组织稳定性和高温抗氧化性不足;三是缺乏针对该类材料性能评价和设计准则。目前 TiAl 合金只能应用在航空发动机 650°C 左右的部件,需要发展新一代高温 TiAl 合金。高 Nb 化和复合化成为提升 TiAl 合金组织稳定性和使用温度的最佳途径。本报告将重点介绍在高 Nb-TiAl 合金复合化和组织稳定性等方面的最新研究进展,最后将讨论 TiAl 合金的发展趋势和存在的挑战。

C11-09**Al₂O₃ 纤维增强 TiAl 基复合材料制备及组织演化研究**

刘咏

中南大学

TiAl 金属间化合物具有密度低、比强度高、良好的高温抗氧化性能和抗蠕变性能等优点,是具有重要应用潜力的先进轻质高温结构材料。然而,由于 TiAl 金属间化合物室温脆性大、热加工难度高,限制了其实际应用。本研究采用 Al₂O₃ 纤维增强粉末冶金 TiAl 基复合材料,研究其粉末致密化及热变形行为。通过热力学分析,阐明放电等离子烧结 Al₂O₃/TiAl 界面反应机理,发现界面 Ti₅Si₃ 主要来源于 TiAl 基体中的 Ti 元素和 Al₂O₃ 纤维中的 Si 元素。由于界面反应过程中 Ti 元素的消耗,界面附近的基体由 γ -TiAl 相组

成。在温度 1000-1200°C 及应变速率 $0.001\text{-}1\text{s}^{-1}$ 的条件下, 通过热压缩试验研究复合材料的热变形行为, 建立复合材料热变形的本构方程和热加工图。发现, 该复合材料的热加工最优参数窗口为 1150-1200°C 和 $0.1\text{-}0.001\text{s}^{-1}$, 具有比常见 TiAl 金属间化合物更好的热变形能力。对复合材料热变形组织演变研究的结果表明, 动态再结晶是协调复合材料热变形的重要因素。高应变速率条件下, 复合材料发生位错交滑移和攀移诱导亚结构形成的连续动态再结晶, 以及孪晶交截诱导形成动态再结晶。低应变速率条件下, 复合材料发生晶界迁移诱导亚结构形成的不连续动态再结晶。Al₂O₃ 纤维在复合材料中与基体之间的变形不协调, 在纤维附近产生的应力集中使得基体发生孪晶交截, 促进靠近纤维的基体发生动态再结晶, 从而细化纤维附近的晶粒。孪晶交截诱导动态再结晶行为提高复合材料的热变形能力。基于上述研究, 成功实现了复合材料的包套锻造, 得到表面平整、无裂纹, 形状较完整的锻坯。

C11-10

国内航空发动机用变形高温合金锻件研制进展

杜金辉

钢铁研究总院有限公司

报告概述了近年来国内航空发动机用变形高温合金及其涡轮盘、机匣和叶片等锻件的研制进展。结合国内变形高温合金及锻件制备技术的发展现状, 重点介绍了变形高温合金大型涡轮盘、大型薄壁异形机匣和近净成形叶片等锻件的制备工艺及技术, 涉及高纯净冶炼、棒材反复镦拔、热模锻造、胎膜预制坯与精密环轧成形等技术。此外, 综述了国内在新合金设计和材料雾化技术方面的研究进展。最后, 展望了国内变形高温合金锻件制备技术和发展方向。

C11-11

新型高熵合金研究进展

程兴旺

北京理工大学

高熵合金突破了传统合金的设计范式, 具有广阔的成分、组织与性能设计空间, 为探索新型高性能结构与功能材料提供了新途径。相关研究表明, 高熵合金在低温强韧性、高温强度、耐腐蚀、生物相容性、热电、储氢、低膨胀等方面与传统合金相比具有显著优势, 在航空航天、精密仪器、海洋工程、医学生物等领域具有较好应用前景。报告人课题组近五年围绕新型高熵合金的设计与强韧化难题开展了系列研究, 利用高熵合金的化学复杂性, 提出了新型包晶高熵合金和共析高熵合金, 设计了纳米析出增强的多级异构高熵合金, 研制了系列针对高温及超高温应用的高强韧、抗氧化难熔高熵合金。相关研究揭示了高熵合金的化学复杂性对于改变合金相转变路径、使合金形成特殊微观组织的本质影响机制; 展现了合金的冲击释能、室温高塑、高温高强等优异性能, 为武器战斗部、航空航天等极端环境应用提供了新型备选结构材料。

C11-12

难熔高熵合金的优异高温性能和组织稳定性

卢一平

大连理工大学

最新的研究显示, 难熔高熵合金具有优异的高温力学性能和高的组织稳定性, 在航空航天、国防工业领域具有潜在的工业应用前景。本报告系统的介绍了难熔高熵合金的发展历程, 已经目前已经取得的成果、存在的科学和技术问题, 以及大连理工大学在难熔高熵合金研究领域取得的进展等。

C11-13

航空发动机用陶瓷基复合材料性能分析与考核验证现状

焦健

中国航发北京航空材料研究院

SiCf/SiC 复合材料由于具有优异的长时耐高温能力、密度低（仅为高温合金的 1/3）、耐腐蚀和抗氧化等特点，可显著降低结构重量、减少冷却空气量、提高热力循环参数，是制备航空发动机热端构件最佳的耐高温材料。研究团队结合航空发动机领域对陶瓷基复合材料的重大需求，研究和总结了以预浸料-MI 为主要工艺制备 SiCf/SiC 的基本力学性能、高温水氧耦合环境下力学性能测试方法和结果以及典型元件的力学测试与分析，开展了“标准试样→元件/模拟件→全尺寸构件”的“积木式”全流程考核验证，为航空发动机用陶瓷基复合材料提供了专用的设计准则。

C11-14

电子束-激光复合粉末床熔融技术

林峰

清华大学

电子束粉末床熔融（EB-PBF）增材制造能够将粉末床温度加热到 1000℃以上，可以有效降低金属材料在选区熔化过程中的热应力，避免低塑性材料的开裂并抑制凝固过程中的热裂纹产生，是一种适合于低塑性、易热裂、高熔点金属材料的增材制造技术。但电子束的束斑直径较大，导致 EB-PBF 制件的表面粗糙度较大，不利于精细构件、特别是空心结构的成形。为此，提出并开展了电子束-激光复合增材制造技术的研发，将激光束引入到 EB-PBF 真空成形室中，通过电子束对粉末床的高效预热，降低成形热应力；利用激光对粉末床进行选区熔化，改善制件的表面粗糙度；并进一步地引入了超快激光对每层打印的截面轮廓进行气化切割，实现基于高能束的非接触式粉末床增减材，进一步地降低表面粗糙度。

C11-15

面向燃氢发动机的材料氢致损伤行为研究

孙彬涵

华东理工大学

氢能作为一种清洁、高效、可持续的二次能源，被视为 21 世纪最具发展潜力的清洁能源，是人类的战略能源发展方向。以清洁的氢燃料替代传统燃料，发展掺氢燃气轮机与燃氢发动机，对实现我国“双碳”目标具有重要意义。然而，高强金属材料极易在氢环境下发生损伤失效，往往质量分数百万分之几的氢浓度就足以使其发生无预警脆断。先进金属材料微结构复杂，具有多相复合、多级异质、变形机制多样等特点，极大的增加了氢致损伤基础理论研究的难度。本工作针对燃氢发动机用镍基高温合金等高性能材料，对其在宽温域临氢环境下的损伤机理进行了系统研究，并提出了相应的寿命预测技术与抗氢损伤调控方法。特别是揭示了高温氢致损伤行为与常温的不同，对其背后的机理做了深入探讨。

C11-16

大型复杂构件制造过程残余应力仿真预测与控制技术

姜建堂

哈尔滨工业大学

残余应力是航空装备大型构件制造与服役过程中形性异变的重要原因。目前，残余应力失控及其所诱发的制造变形和早期失效问题是航空构件研制的关键障碍之一。

本研究考虑残余应力全过程遗传、结构敏感的特性，针对铝合金机轮、航发轴承等构件建立了全制程应力演化模型和数据库，实现了应力演化与残留行为的追踪和分析、揭示应力演化规律和控制要素。在此基础上，通过坯件结构、淬火工艺的优化实现了制造应力控制和残余应力消减，成果在起落架机轮、挥舞支臂、航发轴承等关键构件研制中取得应用。

墙报

C11-P01

基于中间相沥青的碳纤维/环氧树脂复合材料的原位界面表征

魏霄冉、段科*

国防科技大学空天科学学院

Mesophase pitch-based carbon fibers (MPCF) are ideal reinforcement for composite materials used for spacecraft due to their extraordinary thermal conductivity and high stiffness. However, their practical applications are severely limited by a lack of understanding about fiber-matrix interface interactions. Here, through a joint study of fiber push-out testing and molecular dynamics simulations, we investigate the effect of fiber microstructure on the interfacial shear strength of MPCF-reinforced epoxy composites with the microstructure of MPCF being tailored by different spinneret geometries and carbonization process. Our results showed that the surface roughness and interface contact mode are two predominant factors determining the interfacial shear strength (IFSS), which contradicts the common intuition that carbon fibers with higher degree of graphitization generally leads to worse interfacial properties. Owing to the enhanced surface roughness and full edge-plane contact mode, the skin-core structured MPCFs exhibit an IFSS of 17.83 MPa, which is nearly 3 times that of the split-radial structured MPCFs (5.14 MPa). The distinct interface behavior between epoxy and MPCFs with different microstructures, as revealed by molecular dynamics (MD) simulations, stems from more pronounced mechanical interlocking and enhanced intermolecular attraction at the interface. These findings offer significant guidelines for fabricating MPCFs with high thermal conductivity without sacrificing the interfacial load transfer ability through the modulation of surface roughness and interface contact modes.

仅发表论文

C11-PO01

基于原位力学表征技术的 SiC_f/SiC 复合材料拉伸断裂力学行为

周怡然、董志浩、王雅娜、李天山、刘虎、杨金华、焦健

中国航发北京航空材料研究院先进复合材料国防科技重点实验室

SiC/SiC 复合材料由纤维、界面层、陶瓷基体组成,在微观和宏观尺度上存在复杂的相互作用。SiC/SiC 复合材料的损伤失效通常是一个渐进损伤累积的过程,是多种损伤模式并发和交互作用,最终导致材料失效,理解与分析其在模拟发动机环境下损伤失效过程对确保材料和构件的结构安全性与可靠性至关重要。本文将 SiC/SiC 复合材料试样在模拟发动机环境(1300°C, 0.6 马赫燃气冲刷)下循环 100 次后,联合使用原位扫描电子显微镜(SEM)技术和声发射(AE)技术,分别从材料表面和内部多角度表征了 SiC/SiC 复合材料试样的单轴拉伸损伤失效行为。具体采用原位 SEM 技术研究材料在损伤过程中表面的微观结构变化,获得复合材料基体、界面层以及纤维的拉伸损伤演化过程;利用 AE 技术得到材料在损伤过程中的缺陷信号,分析材料组织结构与损伤的相关性,研究组织结构与裂纹萌生、扩展的映射关系,揭示复合材料裂纹萌生与扩展机理。SiC/SiC 复合材料主要失效形式包括基体开裂、界面脱粘以及纤维断裂等。