



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

E07-增材制造材料
E07-Additive Manufacturing Materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



E07. 增材制造材料

分会主席：史玉升、闫春泽、顾冬冬、徐骏、吴甲民、杨磊

E07-01

高性能热成形模具的增材制造技术及应用

史玉升

华中科技大学

模具素有“工业之母”的美称，热锻模具作为模具行业重要的组成部分，工作环境恶劣，易出现热磨损、塑性变形、热疲劳、断裂等失效形式。传统铸造只能生产单材料均质模具，易出现变形、裂纹等损伤，使用寿命低。为此，本研究提出多材料增材制造复杂型腔与随形流道来成形热锻模的思路，通过硬面粉芯丝材制备、多轴分区成形工艺及装备的研究与开发，实现了多材料热锻模的增材制造，对于提升热锻模具性能、延长模具使用寿命、推动模具制造技术升级、降低制造业生产成本和提高生产效率具有重要意义。

拟交流类型：主题报告

E07-02

面向高速电机应用的中/高熵合金软磁铁芯的增材制造与电磁性能

柳林*

华中科技大学

高速电机因其功率密度高、传动效率高、体积小、动态响应快等优点，在航空航天和新能源汽车领域展现广阔的应用前景。而高速电机中的软磁铁芯（包括转子和定子）是将电磁能转换成机械能的核心部件，软磁合金铁芯的损耗即铁损是决定电机损耗和效率的最重要因素。目前普遍使用的硅钢铁芯因其矫顽力高和电阻率低的固有属性，导致其在高频环境下铁损急速攀升，不适用作为高速电机的铁芯材料。相比于硅钢，近年来发展起来的非晶合金和高熵合金因其具有无序的结构特征（拓扑无序和成分无序）而呈现低矫顽力、高磁导率和高电阻率，特别适合于高频应用。本报告将介绍华中科技大学非晶合金课题组在高熵合金（含中熵合金）软磁材料及其激光增材制造的研究进展，包括：中/高熵合金软磁材料的成分设计、微结构调控、电磁性能以及铁芯激光增材制造直接成形。研究结果表明，通过合适的成分设计和结构调控，我们研发的中/高熵合金软磁材料具有高饱和磁化强度（ B_s 达 2.05T），低矫顽力（ $H_c < 120 \text{ A m}^{-1}$ ）、高电阻率（ $r > 2000 \mu\Omega \text{ cm}$ ），表现出卓越的高频低铁损特性，在高速电机领域具有广阔的应用前景。

拟交流类型：主题报告

E07-03

增材制造凝固偏析-位错自组织结构的异常位错强韧化机制

何峰*

西北工业大学

传统位错强化理论认为，加工硬化材料中高密度位错在提高强度的同时必然导致塑性下降，这一“强度-塑性倒置”关系已成为材料强韧化设计的固有瓶颈。本研究采用增材制造技术，构建了偏析修饰的高密度位错结构，显著提升了合金强度而不损害塑性，打破了位错强化必然牺牲塑性的教科书传统认知。通过系统研究增材制造凝固偏析-位错自组织结构的异常位错强化行为与机理，揭示了偏析-位错自组织结构作为位错源的本质，该结构还与滑移位错交互作用，显著增强位错增殖及存储能力，进而促进变形亚结构的动态细化，使增材制造合金展现出“高位错密度-高塑性”协同。在位错强韧化的基础上，研究进一步通过调控偏析-位错自组织结构与再结晶及析出行为的耦合作用，在增材制造合金中成功诱导了高密度多尺度退火孪晶，实现了基于线（位错）、面（界面）、体（析出）多层次晶体缺陷的材料强塑性协同优化，为高性能金属材料

料的设计和开发提供了新思路。

拟交流类型：邀请报告

E07-04

基于 3D 打印的仿生梯度金属-陶瓷复合材料设计与性能调控

沈平*、徐恬昊、蒋明月、胡羽白

吉林大学材料科学与工程学院

为应对金属-陶瓷复合材料在强度与韧性之间难以兼顾的固有限制，本研究融合仿生结构设计与先进增材制造技术，提出两种具有梯度异质结构的铝基复合材料制备策略。首先，采用高分辨率数字光处理(DLP) 3D 打印构建多尺度 Al_2O_3 陶瓷支架，通过多孔性和壁厚的梯度调控及蜂窝、层状、管状等仿生单元设计，实现了熔融铝的完全浸渗并形成强界面结合的 $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 互穿网络结构复合材料。该结构在实现高达 634 MPa 表层强度的同时，中心区吸能能力达 $14.36 \text{ MJ}/\text{cm}^3$ ，展现出优异的强韧协同性能。其次，结合材料挤出打印与压力浸渗技术，开发出具有连续成分梯度的 Al_2O_3 - $\text{B}_4\text{C}/\text{Al}$ 层状复合材料，通过精准调控 $\text{B}_4\text{C}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比例及层间距，实现了从高强度到高韧性的性能调节，同时表现出显著的各向异性力学响应和优异的耐磨性能。两个体系均通过构筑多尺度、可编程的梯度微结构，激发出裂纹偏转、多裂纹扩展、塑性耗能等多重增韧机制，成功突破传统金属-陶瓷复合材料中性能权衡的瓶颈。该研究展示了 3D 打印在构建高性能结构材料中的巨大潜力，为复杂服役环境下对强度、韧性与耐磨性兼具的复合材料设计提供了新范式。

拟交流类型：邀请报告

E07-05

碳化硅陶瓷复杂构件增材制造工艺与性能研究

刘凯^{1,2,*}、孙策¹、贺俊超¹、李天杨¹、陈鹏¹、龚小龙¹

1.武汉理工大学,材料科学与工程学院,武汉 430070

2.武汉理工大学,硅酸盐科学与先进建材全国重点实验室,武汉 430070

复杂结构碳化硅(SiC)陶瓷及其复合材料因具有轻质高强、耐高温、耐腐蚀等特点，在航空航天、核能工程、半导体装备等领域具有应用潜力。本报告总结了本课题组在 SiC 陶瓷及其复合材料增材制造的研究进展。1) 粉床激光增材制造：通过开发高适应性 Csf/SiC 复合粉末及纤维表面 PyC/SiC 涂层，优化激光/熔渗工艺参数，揭示微纳尺度强韧化机制，实现材料致密度提升；2) 浆料光固化增材制造：开发高吸光度多官能团树脂配方，采用颗粒级配优化浆料固含量，显著提高 SiC 构件的成形精度与表面质量；3) 连续纤维原位增材制造：利用机械臂实现连续纤维/SiC 基体的同步沉积，阐明后处理温度-界面强度-力学性能耦合关系，结合贝壳仿生结构设计，实现最优力学性能(弯曲强度 425MPa，断裂韧性 $20.12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)。最后，系统研究对比了三种方法在致密化能力、成形精度调控与强韧化效果等维度的差异化优势，为复杂 SiC 构件制造提供多工艺解决方案。

拟交流类型：邀请报告

E07-06

激光增材制造异质结构设计及变形机理研究

谢信亮*

南京工业大学

异质结构为实现金属材料的强度和延展性平衡提供了一条有前景的路径。然而，在金属激光增材制造

过程中，由于熔池微区冶金特性，定向生长的柱状晶是增材制造最为常规的组织结构，通过优化工艺参数进而定制特定区域的微观结构仍然具有挑战性。本文基于打印过程智能分层工程 (wise-layer engineering) 实现了 316L 不锈钢粗细晶层状结构的可控制备，粗细晶的层厚和叠加方式可调节，展现了激光增材制造技术在特定位置的微观结构设计的巨大潜力。与同质结构相比，激光增材制造粗细晶层状异质结构表现出更加优异的强度和延展性。采用原位 EBSD、原位 DIC 技术分析了层状异质结构的塑性变形机理，发现软硬层间形成的局域应变强化作用。本文提出的微结构结构调控策略适用于各种可打印合金，为金属增材制造中技术应用于异质结构设计提供了一种新的策略。

拟交流类型：邀请报告

E07-07

激光粉末床熔融增材制造 7075-Ti 合金的强塑化机制

柳金龙*、郑伟、于晓曼、沙玉辉、左良

东北大学

激光粉末床熔融 (LPBF) 增材制造的 7075Al 合金中易于形成大量的热裂纹。凝固收缩、热应力和柱状晶是影响热裂纹萌生和扩展的主要因素。打印工艺参数优化不能抑制裂纹的生成，添加含有 Ti 元素的纳米添加剂，可将凝固时形成的柱状晶转变为等轴晶，从而有效的抑制裂纹。但是纳米粉作为添加剂使用时，具有显著的易燃、易爆、易团聚等缺点。本研究预先制备了微米尺寸的 Ti-Zr-Mo-V 合金粉，与 7075 粉末混合。分析了 Ti 添加量对 LPBF 成形试样内部缺陷、显微组织和力学性能的影响，确定了 Ti 元素的最佳添加量，制备出无裂纹的 7075-Ti 铝合金，在此基础上，探究了合金中 Ti、Cu、Mg 等元素分布规律，以及合金的晶粒细化机制及强塑化机制。

E07-08

3D 打印超高强韧化学复杂型金属间化合物

周英豪¹、严明³、韩晓东³、刘锦川¹、赵怡潞²、杨涛*¹

1. 香港城市大学

2. 哈尔滨工业大学 (深圳)

3. 南方科技大学

有序金属间化合物以其卓越的机械性能、化学稳定性和独特的物理特性备受关注，在航空航天、能源装备等领域表现出广阔的应用前景。然而，其固有的室温脆性和极差的加工性能长期制约着实际工程应用。针对这一挑战，本研究基于 L12 型有序超晶格结构的特点，通过热力学相图计算并开发了新型 (Ni, Co)₃(Si, Al, Ti)-B 系化学复杂型金属间化合物，并基于激光 3D 打印技术对其进行增材制造成形。该化学复杂型金属间化合物表现出了优异的可打印性，实现了其无裂纹、高致密度增材制造。更为突出的是，该材料实现了 ~1.6 GPa 的超高抗拉强度与 ~35% 的均匀延伸率的协同提升，这一性能组合在现有增材制造合金体系中尚未见报道。微观机理研究表明，其卓越性能源于高度有序晶粒与晶界附近纳米无序层的协同调控，以及多尺度位错亚结构的动态演化与相互作用。本研究为突破金属间化合物的应用瓶颈提供了新的材料设计与制造范式。

拟交流类型：邀请报告

E07-09**复杂碳化硅陶瓷构件增材制造技术**

闫春泽

华中科技大学

碳化硅陶瓷材料具有高比强、耐高温、低膨胀等众多优点，广泛应用于国家重大战略装备、核心支柱产业。随着高端装备对零件结构与性能的要求愈加苛刻，碳化硅构件向复杂化、整体化、轻量化及材料-结构-功能一体化方向发展。针对传统方法在复杂轻量化 SiC 构件成形方面的局限性，提出利用激光选区烧结多激光增材制造技术成形碳化硅预制体，再结合液相渗硅法整体成形大型复杂高强 SiC 构件的新思路。本报告主要从材料成份设计原理与制备方法、大型复杂构件成形工艺与装备、大型复杂 SiC 构件的应用等方面展开，对于增强航天工业技术基础能力具有深远意义。

拟交流类型：主题报告

E07-10**空间在轨增材制造技术发展现状及展望**

张从发*、李林、张天阳

北京空间飞行器总体设计部

本文主要从空间在轨增材制造技术的发展背景及现实意义出发，对在轨增材制造技术的发展情况从在轨增材制造原材料、在轨增材制造工艺、在轨增材制造装置、在轨制造检测等四方面进行分类归纳和评述，指出相关技术当前发展过程遇到的一系列瓶颈问题，并预测其未来的发展趋势；最后结合国外在轨增材制造技术发展历程中成功经验，给出了中国在轨增材制造技术发展需重点关注的方面和努力方向，以期为中国空间在轨增材制造技术的布局提供有益参考。

拟交流类型：邀请报告

E07-11**光固化 3D 打印水凝胶前驱体制备复杂结构陶瓷**

王晓龙*、刘德胜

中国科学院兰州化学物理研究所

光固化 3D 打印功能水凝胶具备优异理化性能和高精度复杂结构成形的优势，在软体驱动、能源环境、柔性电子及生物医用器械等领域具有广泛应用潜能。对于光固化 3D 打印水凝胶，由于聚合物网络充分形成的速率与 3D 打印快速成形过程不匹配，其高精度快速成形与优异强韧性能相统一存在挑战。基于此，受生物体中广泛的氢键等弱相互作用启发，本研究发展了基于氢键、金属配位等超分子相互作用的光固化 3D 打印结构化水凝胶制备方法，并通过超分子相互作用调控凝胶网络赋予其独特的功能属性，包括荧光特性、超强韧性、梯度承载和界面润滑等，在荧光显示与检测、血管支架、医用光纤、人工关节软骨以及心脏瓣膜等方面具有好的应用潜能。同时，以高强韧光固化 3D 打印结构化水凝胶为前驱体，借助水凝胶的柔韧可塑加工性，经过脱水硬化定型和烧结后实现了复杂结构陶瓷，3D 打印水凝胶柔性前驱体的二次可塑性为复杂结构功能陶瓷的制备提供了新途径。

拟交流类型：邀请报告

E07-12**连续碳纤维增强复合材料点阵蜂窝设计与增材制造**

杨磊*

华中科技大学

连续碳纤维增强复合材料点阵蜂窝结构结合了高性能纤维的优异力学特性和点阵拓扑的设计自由度，在轻量化、高比强度、高比刚度和多功能集成方面展现出显著优势。增材制造技术为实现复杂点阵蜂窝的高精度制备提供了新途径。本文重点探讨了复杂点阵蜂窝设计与增材制造路径规划难题。

拟交流类型：邀请报告

E07-13**基于理论模拟与实验驱动的增材制造铝合金组织特征研究**

汪明亮*、王一浩、黎阳、陈哲

上海交通大学材料科学与工程学院

在新型增材制造铝合金中，铝-稀土共晶合金体系中的稀土具有较低的扩散系数、其金属间化合物与铝基体半共格的界面特征及良好的热稳定性，受到业界的广泛关注。本研究以 Al-La 二元共晶体系为研究对象，通过凝固模型指导结合激光重熔实验验证/反馈，构筑凝固特征参数范围与微观组织演变区间的对应联系；为增材制造中铝合金的组分设计和工艺参数优化提供理论指导。本研究主要内容为：（1）本研究通过单道激光重熔实验，系统评估了成分-工艺空间的潜在微观结构。基于非线性相图优化相竞争生长模型，利用实验结果作为输入和修正，对共晶耦合区、初生铝相的形态以及共晶组织进行了定量讨论。（2）通过耦合枝晶和共晶生长模型，提出了一种新的离异共晶判据。该判据表明，当胞状间距等于共晶层片间距时，共晶铝在初生铝相上外延生长，而共晶 Al₁₁La₃ 相呈现出完全相分离的状态。（3）基于上述模型准则，构建了成分（C）-生长速度（V）-温度梯度（G）空间的微观组织选择图景。此图可以定量预测不同打印参数和组分下熔池内部的微观组织及其转变点，为成分和工艺参数选择提供基本参考，从而有效指导增材制造铝合金体系的快速开发迭代。

拟交流类型：口头报告

E07-14**增材制造金属材料力学性能的微柱压缩研究**李世豪*¹、赵亚凯²、Upadrasta Ramamurty^{2,3}

1. 郑州大学材料科学与工程学院，中国

2. 新加坡科技局，新加坡

3. 南洋理工大学机械与航空工程学院，新加坡

增材制造金属材料具有独特的多层次结构，并表现出高于传统工艺制备材料的屈服强度。有研究认为其高强度来源于亚微米尺寸胞状结构，且强化效果可以采用 Hall-Petch 公式计算；而另有研究认为高强度来源于内部高密度初始位错。针对这一争论，本研究选取激光粉末床熔融(LPBF)制备的 316L 不锈钢(316L)、Inconel718 合金、AlSi10Mg 合金和纯镍为研究对象，采用单晶微柱压缩的方式，对比具有不同微观结构的微柱变形行为，并将 LPBF 微柱试样尺寸效应与微米晶/纳米晶微柱以及预加载变形微柱的尺寸效应进行对比。结果表明，LPBF 制备 316L、Inconel718 合金和纯镍等具有与微米晶/纳米晶微柱相反的尺寸效应，具有与预加载变形微柱相同的尺寸效应。这表明亚微米尺寸胞状结构强化作用不能等同于传统晶界，而位错则主导以上材料的变形行为。对变形后微柱表征发现，部分滑移带终止在位错网边界处，这表明位错网结构可以阻碍位错运动。AlSi10Mg 合金中沿位错网弥散分布的 Si 颗粒则可以进一步提高其对位错的阻碍作

用。本研究表明位错网引起增材制造金属材料高屈服强度并主导其变形行为。

拟交流类型：口头报告

E07-15

粉芯丝材电弧增材制造钛基复合材料及其力学性能

包阳*、黄陆军
哈尔滨工业大学

钛基复合材料增材制造技术目前主要基于激光/电子束粉末床熔融法或激光粉末直接能量沉积法。相比于粉末法，以丝材为原材料的电弧熔丝增材制造技术具有沉积速度快、材料利用率高、设备成本低等优点，在形状相对复杂的大尺寸构件制备中独具优势。然而，由于塑性较差，钛基复合材料难以制备丝材，导致电弧增材制造技术的发展严重受限。本文提出了一种基于粉芯丝材的电弧增材制造技术，丝材以纯钛管为包套，内含合金粉末，具有“管包粉”结构。这种结构不仅克服了丝材拉拔成形难题，通过“粉”与“管”的熔化和反应，实现了 TiB、TiC 等增强体在打印过程中原位自生。本文以 Ti-TiB₂ 粉芯丝材电弧熔化沉积 TiB/TC4 复合材料为例，着重介绍了丝材成分参数和沉积工艺参数对丝材熔化过渡模式的影响规律，分析了粉芯丝材的熔化特征和原材料的反应行为，探讨了电弧打印钛基复合材料的组织特征与形成机制；此外，对电弧打印钛基复合材料的拉伸、压缩、摩擦磨损等基本力学性能进行了表征，分析了晶须和基体的强化作用原理。新型钛基粉芯丝材的提出，可以为多组元、低塑性材料的电弧熔丝增材制造工艺提供借鉴。

拟交流类型：口头报告

E07-16

多材料激光增材制造中元素混合、金属间化合物与微裂纹的交互机制

徐京豫、李绪道*
中国科学院宁波材料技术与工程研究所

异种金属增材制造（AM）常因界面脆性金属间化合物（IMCs）导致微裂纹，传统解决方案通过成分设计规避 IMCs 形成，但对于熔池混合行为、IMCs 特性与微裂纹的关联机制仍缺乏深入理解。本研究揭示了激光粉末床熔融（LPBF）铝合金基体与 Inconel718 颗粒时，异种材料混合不充分引发的元素偏聚、IMCs 富集及开裂现象。通过高速同步辐射 X 射线成像发现，富镍团簇会突然冲入熔池，导致 IMCs 局部富集并引发微裂纹；而通过匙孔振荡可分散富镍团簇并抑制裂纹，但会诱发起气孔缺陷。显微组织表征与多物理场模拟结果与 X 射线观测相互印证。基于此，我们提出通过调控熔池流动以增强材料混合，同时避免气孔形成，是实现冶金不相容双合金无裂纹增材制造的关键。

拟交流类型：口头报告

E07-17

激光增材制造超高温氧化物共晶陶瓷凝固组织与性能

刘海方*
昆明理工大学材料学院，金属先进凝固成形及装备技术国家地方联合工程研究中心

基于熔体生长法制备的氧化铝基共晶自生复合陶瓷表现出优异的高温力学性能和环境性能，被视为新一代航空航天用超高温结构材料的主要候选者之一。在航空发动机热端部件向着尺寸大型化、结构复杂化的方向发展的背景下，高柔性激光增材制造技术已发展成为氧化物共晶陶瓷最具潜力的新型凝固成形制备技术。本文以 Al₂O₃/GdAlO₃/ZrO₂ 三元共晶陶瓷为研究对象，采用激光定向能量沉积增材制造技术成功制

备了壁状、棒状、拐角状等多种形状的共晶陶瓷样件，系统研究了裂纹等凝固缺陷的形成及扩展规律与控制措施，探明了高熔化熵小平面共晶在瞬态非平衡凝固条件下的组织形成及演变机理，考察了激光增材制造微纳米结构氧化物共晶陶瓷的力学性能、高温结构稳定性及抗 CMAS 腐蚀性能，研究结果可为激光增材制造氧化物共晶陶瓷的高温结构应用评估提供数据支撑。

拟交流类型：口头报告

E07-18

场辅助增材制造高性能合金

刘冠*

中南大学

激光定向能量沉积 (LDED) 作为一种先进的增材制造技术, LDED 过程的快速熔化和凝固导致气孔和粗大晶粒的出现, 从而降低了合金的强度。基于此, 开发了自行研制的场辅助设备 (LDED-UR) 来制备 316L 不锈钢, 并对其微观结构和力学性能进行了表征。结果表明, LDED-UR 工艺显著减小了气孔的大小和分数, 在超声波振动和辊压的共同作用下, 获得了细小的等轴晶粒。随着塑性变形的加剧, LDED-UR 样品的平均晶粒尺寸从 $76.10\mu\text{m}$ 减小到 $26.23\mu\text{m}$ (LDED 样品), 高角度晶界转变为低角度晶界。同时, 与 LDED 样品相比, LDED-UR 样品中的位错密度增加。由于晶粒细化和位错强化, LDED-UR 样品的平均显微硬度、屈服强度、极限抗拉强度和伸长率分别达到 $268.18\pm 3.90\text{HV}0.2$ 、 442MPa 、 771.2MPa 和 49.8% , 高于 LDED 样品的 $214.13\pm 3.76\text{HV}0.2$ 、 396MPa 、 682MPa 和 45.5% 。这意味着在 LDED 工艺下采用场辅助可以获得优越的力学性能。微观结构对力学性能影响的深入研究为提高 LDED 合金的力学性能开辟了一条新途径。

拟交流类型：邀请报告

E07-19

面向激光增材制造孔隙性缺陷的液相诱导愈合后处理技术

胡小刚*

中山大学

针对激光增材制高温合金中的裂纹、气孔及未熔合孔等孔隙性缺陷控制难题, 我们开发了一种液相诱导愈合技术(LIH)。不同于热等静压(HIP)利用高压 ($100\sim 200\text{MPa}$) 将材料内部孔隙挤压闭合的技术原理, LIH 通过控制晶界微熔引入晶间液相回填裂纹及未熔合孔等孔隙, 同时也为打印过程中滞留的气体提供再次外逸的通道和时间窗口。因此, LIH 可突破热等静压无法愈合表面缺陷与内部含气体孔隙的技术局限。同时, 液相诱导愈合技术不依赖高压工作条件, 因此无需增压系统和耐高压腔室而大幅度简化装备构造, 其装备成本与工艺成本显著低于热等静压技术。在本报告中, 我们以激光粉末床熔融制备 IN738LC、IN718 镍基高温合金为验证材料论证了该技术的先进性。部分研究结果近期已在领域顶刊 Acta Materialia、MSER、JMPT 发表。

拟交流类型：邀请报告

E07-20

广西大学智能激光制造与精密加工研究团队在增材制造等领域的研究进展

郭旺^{*1,2}、龙雨^{1,2}

1. 广西大学机械工程学院

2. 特色金属材料与组合结构全寿命安全国家重点实验室

本报告介绍了广西大学特色金属材料与组合结构全寿命安全国家重点实验室“智能激光制造与精密加工”研究团队在多个研究方向取得的最新进展。内容涵盖制造装备及其软件、机器人及能量管理、新材料设计与制备、材料加工新工艺、新方法及应用，以及功能化骨组织工程支架等领域。在制造装备与软件方面，团队开发了光束整形的激光粉末床熔融 3D 打印、超高速激光熔覆/激光辅助冷喷涂、激光“熔覆-焊接-淬火”一体头、红蓝激光复合焊接、粘结剂喷射 3D 打印、金属 3D 打印智能在线监测系统、AI 辅助全过程监测、超快激光精密加工系统以及支持支撑设计与多模态仿真、数字孪生等软件工具。在机器人与能量管理方面，主要研究内容包括机构创新设计与运动学分析、非结构化空间感知与轨迹优化、路径规划、轨迹跟踪控制、端到端控制、人形机器人与机器人狗的运动控制，以及锂电池系统容量在线估计和安全管理。材料设计方面强调 3D 打印粉末的制备，铝合金/稀土材料的高强高韧性能调控，绿色低碳金属材料的涂层技术，难熔陶瓷的激光定向沉积，以及多材料超高速大幅面光固化打印。材料加工方面涉及异种金属激光焊接、真空激光焊接、超快激光微纳加工、陶瓷的激光打印成型和异种微纳连接等新技术。最后，在生物医用方面，团队开发了多种功能化骨科植入物，包括自适应填充的形状记忆骨支架、抗菌/抗肿瘤骨支架、仿生多孔骨架、生物陶瓷及可降解复合骨支架和生物基骨支架等，推动骨组织修复与再生技术的发展。

拟交流类型：邀请报告

E07-21

增材制造连续碳化硅纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料

刘主峰*

华中科技大学

开发能够在恶劣环境中承受重压的轻质高强度材料在各种航空航天和国防系统中具有重要意义。尽管在利用具有高温抗性的连续纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料方面已取得成功，但要实现具有高几何复杂度和卓越机械性能的材料仍颇具挑战性。在此，我们报道了利用增材制造设备将连续碳化硅纤维复合丝材制成坯体。通过两次 PCS 前驱体浸渍裂解工艺来保护连续碳化硅纤维，同时进行多次酚醛树脂前驱体浸渍裂解工艺来调节碳化件的碳密度，最后通过液相渗硅工艺制备连续碳化硅纤维增强碳化硅陶瓷。当连续碳化硅纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料的碳密度为 0.85 g/cm^3 时，其最大断裂韧性为 $10.79 \text{ MPa m}^{1/2}$ ，抗弯强度 398 MPa 。

拟交流类型：口头报告

E07-22

通过粉末级配设计增强立体光刻 3D 打印硅基陶瓷芯的综合性能

管大伟、李飞*

上海交通大学

航空航天工业水平的发展离不开空心涡轮叶片的制造，空心涡轮叶片也是第六代战斗机先进航空发动机最重要的部件。随着陶瓷型芯结构的日益复杂，传统的热压铸工艺难以满足使用需求。3D 打印技术作为一种逐层叠的新型成型技术，为陶瓷型芯的提供了一种高效率，高精度的制备方式。硅基陶瓷具有易溶出的优势，但是力学性能却远不及其他陶瓷材料。如何提高硅基陶瓷型芯的综合性能，使其满足实际应用需求是一个巨大的挑战。本工作采用光固化成型 3D 打印技术，通过对粉末级配的设计，制备了具有高强度的高性能陶瓷，当粗、中、细颗粒的质量比为 1: 1: 2，随着烧结温度的提高，硅基陶瓷的高温强度先增高后降低，在 1200°C 时获得高强度值 (39MPa)。烧结过程中细粉和中粉填补粗粉之间的空隙，在粗粉之间通过生成烧结颈结合。结果表明，通过控制粉末级配和烧结温度能够实现陶瓷型芯综合性能的提升。

拟交流类型：口头报告

E07-23**层间锤击辅助电弧增材技术制备的 TiNi 形状记忆合金微观组织演变及力学性能研究**

韦良晓、高智勇*、杨光远、郑仪萍

哈尔滨工业大学

电弧增材制造技术 (WAAM) 凭借其高沉积效率、低成本优势, 被认为是制备大尺寸及复杂 NiTi 形状记忆合金构件的适用方法。然而, 沉积态 NiTi 形状记忆合金粗大的晶粒尺寸和较差的力学性能限制了其在航空航天等领域的应用。针对上述问题, 本文通过层间锤击辅助 WAAM 技术制备了具有不同层间变形量的形状记忆合金, 系统研究了层间锤击力对其微观组织、孔隙演变及力学性能的影响。结果表明: 在 0.7KN 的锤击力下, 试样的最大变形量为 37.38%, 晶粒细化效果显著, 平均晶粒尺寸从 40 μm 逐渐减小至 15 μm 。由于孔隙的平衡状态在锤击力作用下被打破, 其短轴方向更倾向于与锤击方向一致, 且随着层间锤击力的增大, 孔隙数量减少, 孔隙尺寸也进一步细化。0.7KN 的锤击力的试样综合力学性能最佳, 抗拉强度为 752 MPa, 较沉积态的 488MPa 提升了 54.1%, 同时仍保持 8.2% 的良好延伸率。

拟交流类型: 口头报告

E07-24**Energy absorption capacity and resistance to fatigue crack propagation of twin-boundary designed sheet-based Gyroid lattice structures built by Laser powder bed fusion**

Xiang Liu*

School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology

Aluminum triply periodic minimal surface (TPMS) lattice structures have numerous potential applications in industrial fields such as automotive, aerospace, and military. To enhance the energy absorption capacity, crack resistance, and fatigue performance of aluminum TPMS lattice structures under compressive and cyclic compressive loads, this study designed three sheet-based Gyroid lattice structures with different orientations by adding twin boundaries. The impact of twin-boundary design on the mechanical properties of the structures was investigated through quasi-static compression tests, finite element simulations, and compression-compression fatigue tests. The results show that while the three lattice structures exhibit similar overall compressive properties, their failure processes differ. The addition of twin boundaries delays structural failure, smooths stress fluctuations during compression, and effectively alters crack propagation direction, enhancing crack resistance. Furthermore, twin boundaries contribute to higher energy absorption capacity by controlling crack propagation. Among the three structures, the double orientation fourfold Gyroid (DFG) lattice structure demonstrates the highest energy absorption efficiency before fracture and excellent fatigue crack resistance. Although the fatigue life of the DFG lattice is relatively short after initial damage, its cracks remain confined to the first layer, allowing it to retain relatively good load-bearing capacity. Post-fatigue analysis reveals that the DFG lattice undergoes less grain fragmentation and deformation compared to the SG lattice, highlighting its superior fatigue resistance. These findings provide valuable insights for optimizing the compressive and fatigue performance of lattice structures in engineering applications.

拟交流类型: 口头报告

E07-25**5356 铝合金的激光-电弧复合增材制造**

熊仁龙*

四川大学

针对 5356 铝镁合金电弧增材制造过程中气孔率高、力学性能不足的问题，本研究创新性地提出同步激光清洗与震荡激光复合电弧增材制造工艺。通过激光清洗去除表面氧化层降低氢源(气孔率降至 0.01%，降幅达 96%)，并结合激光熔池搅拌细化晶粒(平均尺寸减小 41.2%)，系统探究了工艺参数对沉积样宏观形貌、微观组织及力学性能的影响机制。实验结果表明：同步激光清洗工艺使沉积样断后延伸率提升 25.8%，同时有效缓解层间气孔聚集导致的各向异性。震荡激光的引入显著提升材料强塑性，抗拉强度与延伸率分别提高 15.4% 和 15.2%。研究揭示了晶粒细化与残余应力的竞争机制：高功率震荡激光虽能强化晶界作用，但其引发的残余应力会部分抵消气孔率降低对延伸率的增益效应。本研究建立的激光-电弧复合增材制造技术，从氢源控制与熔池调控双重维度破解铝合金增材气孔难题，为高性能低孔隙金属构件制备提供了新方法。研究发现的激光-电弧交互作用机制及组织演变规律，对先进增材制造技术发展具有重要理论价值。

拟交流类型：邀请报告

E07-26

轻质合金激光-电弧复合增材制造

赵丹雷、马广义*

大连理工大学机械工程学院

轻质合金兼具低密度、高比强度和刚度等优点，是新一代航空航天飞行器高性能、轻量化核心部件的优选材料。然而，传统铸造/锻造成形+铆接/焊接连接的制造方式面临质量一致性差、服役可靠性低等问题，难以满足航空航天飞行器不断缩短的研制周期和升级换代的迫切需求。利用增材制造技术制备轻质合金构件能够突破传统加工方法对产品形状的限制，尤其在结构功能一体化制造等方面具有得天独厚的优势。

轻质合金单一电弧或激光增材极易存在缺陷较大、组织粗大等问题，致使成形样件难以兼顾高强度与韧性，严重阻碍了此类合金增材制造技术的工程化应用。为解决上述难题，本工作将能量定域可控激光与高效率电弧耦合，提出了轻质合金激光-电弧复合增材制造技术，研制了复合增材制造装备。

本工作开展了轻质合金激光-电弧复合增材制造的成形机理与性能调控可行性研究，并得到了如下主要结论：(1) 明晰了轻质合金样件内部气孔类别，确定了低气孔率的工艺区间，建立了气孔率预测模型，其中激光单脉冲能量对气孔率影响最大；(2) 研究了复合增材下微观组织生长机理，结合热-流耦合数值模拟阐明了熔池传热传质行为与凝固组织的内在关联；(3) 开发了组织和性能协同调控的“双级固溶处理+时效处理”的热处理方法，Al-Zn-Mg-Cu 合金室温抗拉强度突破 600MPa，成功搭建了双机械手协作下复合增材制造系统，本工作为高性能轻质合金构件的高质高效制造提供科学依据和工艺决策。

拟交流类型：邀请报告

E07-27

LPBF 成形蜂窝多孔结构的面内性能强化机制研究

郑钧元*

北京建筑大学

蜂窝多孔结构具有轻量化的特点和优异的面外性能，可用作吸能防护材料，通过激光粉末床熔融技术(LPBF)可以制备具有复杂结构的蜂窝多孔结构。然而，蜂窝多孔结构的面内性能相对于面外性能而言非常薄弱，在承载复杂多向载荷时的性能显著下降。具有密度变化 Voronoi 单元的梯度蜂窝结构在面内承载方向上具有逐层塌陷和可调吸能的特性，本团队提出了一种在面外方向添加折纸特征的梯度折角蜂窝结构，采用 LPBF 制备样品和有限元仿真分析其力学性能。结果表明，折角提高了结构的屈服应力、刚度、强度、比吸能量，也降低了冲击载荷下结构的塌陷速度；塌陷边界随折角呈波浪状，扩大了应力集中区域，提升了结构的强度。而高密度梯度导致非变形区域变宽，破碎边界变平，并降低了屈服强度和能量吸收能力。另一方面，本团队设计了一种具有增强的各向同性的折纸蜂窝单元，与传统蜂窝相比，该单元极大提高了

面内性能，包括刚度、强度、平台应力和比吸能，但部分降低了面外性能。该折纸蜂窝结构的面内性能达到其面外性能的 70%，大大提高了结构的各向同性。以上研究提供了蜂窝多孔结构的设计和优化思路，可根据缓冲应用需求精确定制蜂窝结构的性能。

拟交流类型：邀请报告

E07-28

激光粉床熔融难焊接高温合金裂纹消除的前-中-后策略

郭川*

中山大学

激光粉末床熔法在制造难焊高温合金时存在裂纹问题，严重限制了其广泛应用。针对这一问题，提出了一种包括前阶段、中阶段和后阶段的三阶段裂缝消除策略。前策略：在打印前加入纳米颗粒添加剂以减少开裂风险，本研究将纳米氧化钇颗粒引入钴基和镍基高温合金中，最终以完全不同的机制消除了裂纹。中期策略：在成形过程中，通过修改激光输入模式：脉冲激光/连续激光，改变激光轮廓形状：高斯激光/平顶激光，控制微观组织以实现晶粒细化和晶界消除，消并最终除裂纹。后策略：在打印结束后，利用液体诱导后处理技术修复产生的裂纹。该技术通过在裂纹区域诱导固-液相转变，使微裂纹完全愈合，从而提高力学性能。与热等静压等传统方法相比，该方法可以修复与表面连通的裂纹，且具有较低的工艺成本和操作复杂度。综上所述，三种手段可以有效消除激光粉床熔融成形难焊高温合金的裂纹问题，促进其在航空航天、能源等领域的广泛应用。

拟交流类型：口头报告

E07-29

脉冲电流辅助化学界面工程实现增材制造 Ti-6Al-4V 合金的强韧化

严旭东*

大连理工大学化工海洋与生命学院

传统的后处理技术，例如热等静压和热处理，很难在增材制造钛合金中实现高强度和高延展性的匹配。本研究提出了一种脉冲电流辅助化学界面工程技术来解决通过激光粉末床熔融(LPBF)制备的 Ti-6Al-4V 合金中的这一挑战。这种创新工艺通过高温下控制元素扩散，在 β 晶粒内建立了化学界面，快速冷却后形成了一种新型的双马氏体微观组织结构。该技术在 LPBF 制备的 Ti-6Al-4V 合金中获得了约 1118 MPa 的高屈服强度和约 11.2 % 的伸长率。屈服强度的提高归因于阻碍位错滑移的化学界面的存在。此外，这些化学界面限制了 α' 的生长，并抑制了微裂纹的扩展，从而导致伸长率显著增加。这一创新工艺有望成为提高各种增材制造的 $\alpha+\beta$ 钛合金力学性能的有效方法。

拟交流类型：口头报告

E07-30

基于柱状/等轴异质界面调控的电弧增材制造铝合金的动态力学行为研究

周颖惠*

西安工业大学

超大规格高强韧铝合金燃料贮箱是百吨级重型运载火箭的关键器件。现有传统技术难以突破制备 10 米级铝合金贮箱的技术瓶颈。电弧增材制造技术有望解决超大尺寸构件的成形难题，但该技术成形的铝合金构件较低的综合力学性能限制了其实际应用。本文针对电弧增材制造铝合金中独特的柱状/等轴晶层状异

质界面特性调控及其强韧化机制开展研究，充分利用异质结构优异的强韧性匹配能力，为实现电弧增材制造铝合金构性关系的主动控制提供新思路。通过分析热控参数对异质界面特性的影响规律，制定异质界面调控准则。综合运用多种原位同步分析手段，研究载荷方向与柱状/等轴晶异质界面特性耦合作用下的宏微观塑性变形机制，揭示异质界面特性对异构变形诱导强化和应变硬化的影响机制，阐明“成形工艺-异质界面-强韧性”三者之间的内在联系。研究成果将发展电弧增材制造铝合金异构组织的强韧化手段，并为大尺寸航天产品一体化高质高效制造提供指导。

拟交流类型：口头报告

E07-31

3D 打印 CF/PEEK 复合材料的力学与摩擦学性能研究

相帅博、赵盖*

南京航空航天大学

本文采用熔融沉积成型（FDM）3D 打印技术制备了 15%碳纤维增强聚醚醚酮（15%CF/PEEK）复合材料，系统研究了打印层厚、打印温度及打印速度对材料抗拉强度的影响。结合扫描电子显微镜（SEM）对断口形貌的观察，分析了不同打印参数对层间结合和纤维分布的影响，优化了最佳打印参数。此外，为了进一步提升材料力学和摩擦学性能，对打印样件进行了不同温度（160°C、200°C、240°C、280°C）的退火处理，并测试了退火后材料的力学性能和摩擦学性能。通过观察退火处理后样件断面形貌以及磨痕形貌，结合 X 射线衍射（XRD）图谱计算其结晶度，探究了退火温度对 FDM 3D 打印 CF/PEEK 力学和摩擦学性能的影响。结果表明，240°C退火温度下材料结晶度最高并且耐磨性最好，而 280°C退火温度下纤维-界面结合更紧密而使其力学性能更强。文章最终确定了兼顾力学性能和摩擦学性能的最优工艺与后处理条件。

拟交流类型：口头报告

E07-32

W-25%Re alloy manufactured by selective laser melting: Densification, microstructure and cracking behavior

Yingying Zhang*, Xuebing Wang, Xuequan Liu, Ning Xiong

Advanced Technology & Materials Co., Ltd

In this study, the densification, microstructure and cracking behavior of W-25%Re alloy (percentages indicate the mass percent of Re) manufactured by selective laser melting (SLM) are systematically investigated. High-density of the SLMed W-25%Re (97.61%) are manufactured through adjustment and optimization of a wide range of SLM processing parameters with a laser power of 350 W and a scanning speed of 250 mm/s, but cracking can't be overcome through the adjustment and optimization of SLM processing parameters. As the input volumetric energy density (E_v) increases, the major defects inside the W-25%Re alloy samples change from irregular holes to cracks. When the input volumetric energy density (E_v) is relatively high, it reveals epitaxially grown columnar grains and intergranular cracks along the parallel building direction (PD). The microstructure along VD is formed strong $\langle 111 \rangle$ crystallographic texture at a laser power of 350 W and a scanning speed of 250 mm/s. In addition, the cracking mechanism of the SLMed W-25%Re alloy is attributed to the formation of high-angle grain boundaries and the segregation of oxide impurities at the grain boundaries.

拟交流类型：口头报告

E07-33

激光粉末床熔融技术制备高熵合金与中熵合金增强钛合金的组织结构与力学性能

张法明*, 熊义峰, 汤屹洲, 冯慧雅, 胡宇航

东南大学 材料科学与工程学院 江苏省金属材料与高技术重点实验室

激光粉末床熔融 (LPBF) 制备的钛合金 (如 TC4) 可以得到复杂形状零部件, 但常面临强塑性不匹配问题, 即高强度伴随低塑性, 这主要源于快速凝固和热循环导致的非平衡微观结构如快速凝固形成细晶 α' 马氏体相和粗大的柱状晶、内部缺陷及残余应力。本报告总结了团队在过去 3 年的工作, 通过高熵合金 FeCoNiCrMn、FeCoNiCrMo 或中熵合金 FeCoNiCr、CoCrNi 球形粉末混合到 TC4 粉末中进行激光 3D 打印成型。结果表明高熵合金与中熵合金可以细化 TC4 的晶粒、减少粗大的柱状晶, 增加 β 相的比例, 最后 TC4 合金的强度与塑性同时提高, 主要的强韧化机理为: 固溶强化、细晶强化、TRIP 效应强化和异质结构强化。报告中也对比了不同高中熵合金的强韧化效果, 并对其动态力学性能进行了研究。

拟交流类型: 邀请报告

E07-34

聚醚醚酮高温激光选区烧结增材制造及应用

陈鹏¹、王浩则²、闫春泽*²、史玉升²

1. 武汉理工大学
2. 华中科技大学

聚醚醚酮 (PEEK) 作为一种特种工程塑料, 具有轻质、高强、耐高温和耐腐蚀等优点, 广泛应用于国家战略领域、支柱产业的关键零部件。然而, 目前商品化的增材制造聚合物材料主要局限于通用塑料和普通工程塑料, 特种聚合物 PEEK 由于熔点高、结晶快的特点导致增材制造加工难度高。为此, 报告人及团队开展了深入研究, 本报告主要针对 PEEK 高温激光选区烧结装备研发、增材专用 PEEK 材料制备、成形工艺与性能, 以及 PEEK 增材制造的应用等方面展开介绍。

拟交流类型: 邀请报告

E07-35

Enhancement of mechanical properties in laser 3D-printed Zr-based bulk metallic glass composite via multiscale heterogeneous structure

Di Ouyang¹, Lin Yuan², Pengcheng Zhang², Jie Pan², Cheng Zhang², Huaping Ding², Lin Liu*²

1. Wuhan University of Technology
2. Huazhong University of Science and Technology

Laser 3D printing technology offers an efficient approach for fabricating large-sized and complex-shaped bulk metallic glass (BMG) products. However, the precipitation of brittle intermetallics in the heat-affected zones (HAZs) of 3D-printed BMGs seriously deteriorates their plasticity. To solve this issue, a Zr_{47.5}Cu_{45.5}Al₅Co₂ BMG alloy system was 3D printed in this study by using laser powder bed fusion (LPBF) technique, and multiscale heterogeneous structure with full B₂-CuZr phase in the HAZs was tailored by alternately regulated process parameters. It was found that the 3D-printed BMG parts with multiscale heterogeneous structure possesses better strength-plasticity synergy (~1.2 GPa yield strength and ~7% plastic strain) than the normal ones, owing to the coupling effect of stress-induced martensitic transformation of B₂-CuZr phase and multiscale heterogeneous structure. In which, the phase transformation of granular B₂-CuZr phases within the amorphous matrix stimulates the initiation of mass of shear bands and the heterogeneously distributed B₂-CuZr layers hinder the unstable propagation of shear bands, making the 3D-printed BMG composite parts achieve better mechanical

properties. The current work provides a novel guidance for the design and fabrication of high-performance 3D-printed BMG composite products.

拟交流类型：邀请报告

E07-36

AI 辅助的增材制造用高端金属材料的开发与应用

孔辉*、彭勃、牟光俊、万学忠、方正、王轩泽

创材深造（苏州）科技有限公司

金属激光增材制造的广泛应用仍受限于材料成分与激光增材制造工艺间的适配性瓶颈，突破这一瓶颈亟需开发新型增材制造专用合金的设计体系与准则。传统的试错法研发模式已难以满足该领域的快速发展需求，而基于数据驱动的“第四范式”材料研究方法在基础研究与产业应用层面均展现出显著优势。本研究通过系统集成**材料高通量计算、高通量制备、高通量后处理及高通量表征测试**等全链条技术，构建了一套面向增材制造的高端金属材料（以镍基高温合金、高强铝合金为典型）**成分设计-工艺优化-性能调控**的研发范式。核心在于利用**大规模数据采集、人工智能（AI）模型训练与优化**以及**高通量实验验证**，实现了金属或合金在多成分协同调控与工艺参数空间中的高效迭代寻优，为增材制造专用高端金属材料的设计提供了新思路。同时，本研究构建了覆盖“成分-工艺-性能”关键参数的**增材制造金属材料专用数据库**，为实现终端用户导向的**材料逆向设计**提供了解决方案。

基于上述数据驱动方法成功开发的高强铝合金 **CA750H**，其综合性能达到行业领先水平：抗拉强度突破 550 MPa，延伸率保持在 10% 以上，同时疲劳强度高达 260 MPa。该材料及其配套工艺已在复杂结构件一体化成形与轻量化设计领域实现了产业化应用。本研究通过融合**多尺度、高维度、多模态**数据的采集分析与人工智能辅助决策，显著降低了研发成本与周期，有力加速了面向激光增材制造的高性能专用金属新材料的开发与应用进程。

拟交流类型：邀请报告

E07-37

高熵合金增强 AlSi10Mg 复合材料的粉末床激光熔融制备与组织性能研究

王刚*¹、陈舒宇¹、朱德智²

1. 华南理工大学材料科学与工程学院

2. 华南理工大学机械与汽车工程学院

粉末床激光熔融（LPBF）技术作为增材制造技术的一种，已广泛应用于铝合金及其复合材料，在生产高性能的复杂零部件领域具有独特的优势。AlSi10Mg 合金因其良好的 LPBF 成形性，常被用于铝基复合材料的基体材料。但是传统的陶瓷增强铝基复合材料面临着增强相分布不均匀、界面处易发生有害反应和复合材料塑性下降等诸多挑战。而高熵合金（High-entropy alloys, HEAs）在四大“核心效应”的耦合作用下，具有优异的综合性能，且与铝基体有着良好的界面润湿性，因此将高熵合金颗粒作为增强相有望在不损失铝基复合材料塑性的情况下提高其强度。本工作分别选用 AlCoCrFeNi_{2.1}、FeCoCrNi 和 TiNbZrTa 三种高熵合金作为增强相，并添加少量 TiB₂ 颗粒以辅助成形，采用 LPBF 方法制备了 HEAs/AlSi10Mg 和 (TiB₂+HEAs)/AlSi10Mg 复合材料，研究不同的增强相及其添加量对复合材料显微组织和力学性能的影响，并通过后续退火热处理工艺进一步调控组织和性能，以制备出力学性能优良的高熵合金增强铝基复合材料。

在 HEAs/AlSi10Mg 复合材料中，AlCoCrFeNi_{2.1} 的加入会增加球形气孔，且孔隙率随 AlCoCrFeNi_{2.1} 含量增加而升高，而 FeCoCrNi 和 TiNbZrTa 可改善 LPBF 成形质量，孔隙率均低于 AlSi10Mg 基体。HEAs 的加入未改变基体的物相组成，仍为 α -Al 和 Si 相，且 HEAs 颗粒形貌呈多样性：AlCoCrFeNi_{2.1} 为不规则形状，FeCoCrNi 为不规则形状和云朵状，TiNbZrTa 以球形为主。HEAs 均能细化（Al-Si）共晶组织与晶

粒,降低组织各向异性,其中 TiNbZrTa 的晶粒细化效果最优,柱状晶完全转变为等轴晶,AlCoCrFeNi2.1 次之,随后是 FeCoCrNi。高含量的 AlCoCrFeNi2.1 与 FeCoCrNi 导致 Al 胞之间的割裂以及部分共晶 Si 断开,而 TiNbZrTa/AlSi10Mg 复合材料的 Al 胞与共晶 Si 结合良好。在三种 HEAs/AlSi10Mg 复合材料中,AlCoCrFeNi2.1/AlSi10Mg 的强度最高塑性最差,而 FeCoCrNi/AlSi10Mg 和 TiNbZrTa/AlSi10Mg 兼具良好的强度与塑性。

在(TiB₂+HEAs)/AlSi10Mg 复合材料中,微量 TiB₂的加入显著改善 LPBF 成形质量,降低孔隙率,尤其是 AlCoCrFeNi2.1 体系实现了高度致密化,且其颗粒形貌趋于近球形。HEAs 颗粒与 Al 基体的界面处存在过渡层,过渡层中发生了元素的扩散且存在纳米 HEAs 颗粒。(TiB₂+HEAs)/AlSi10Mg 复合材料的组织和晶粒进一步细化,晶粒尺寸由 5.42 μm(纯 AlSi10Mg)分别细化至 1.31 μm((TiB₂+AlCoCrFeNi2.1)/AlSi10Mg)、3.1 μm ((TiB₂+FeCoCrNi)/AlSi10Mg)和 0.95 μm ((TiB₂+TiNbZrTa)/AlSi10Mg)。此外,复合材料的力学性能均有提高,且克服了强度和塑性之间的权衡,(TiB₂+AlCoCrFeNi2.1)/AlSi10Mg 的抗拉强度达到 516.9 MPa,延伸率达到 4.2%,(TiB₂+FeCoCrNi)/AlSi10Mg 的抗拉强度达到 481.7 MPa,延伸率达到 6.48%,(TiB₂+TiNbZrTa)/AlSi10Mg 的抗拉强度达到 450.7 MPa,延伸率为 6.5%。复合材料强度的提高归因于细晶强化、奥罗万强化、承载强化和位错强化的协同作用,而塑性的改善主要归因于材料的成形质量得到提高以及晶粒的细化。

(TiB₂+HEAs)/AlSi10Mg 复合材料在 300 °C退火 1 h 后,组织和晶粒有所粗化,网络状的 (Al-Si) 共晶组织保持相对完整,部分共晶 Si 熔断为短棒状和球状,Al 胞内析出了少量的纳米 Si 颗粒。退火后复合材料发生了软化现象,(TiB₂+AlCoCrFeNi2.1)/AlSi10Mg 的抗拉强度为 410.6 MPa,延伸率为 8.25%,(TiB₂+FeCoCrNi)/AlSi10Mg 具有更好的塑性,延伸率为 9.02%,但强度下降明显,(TiB₂+TiNbZrTa)/AlSi10Mg 复合材料的强度大幅下降,延伸率增加至 11.45%。强度下降塑性提高归因于残余应力的消除、组织的粗化和晶粒的长大、部分共晶 Si 的溶解和断裂、Al 胞内 Si 颗粒的析出导致固溶强化作用减弱。

拟交流类型:口头报告

E07-38

后处理对激光选区熔化 Ti-6Al-4V 合金中显微缺陷和组织的影响研究

张弘毅¹、邢辉²、杨义^{1,*}

1.上海理工大学材料与化学学院,上海,200093

2.上海交通大学材料与化学学院,上海,200240

激光选区熔化(SLM)技术因其高材料利用率和近净成形能力,成为制造复杂构件的重要方法。然而,其高度局部化的瞬时热输入和超快速冷却易导致显微缺陷(如气孔、未熔合),显著影响构件力学性能与寿命。Ti-6Al-4V 合金广泛应用于航空航天、医疗器械等领域,通常通过后处理改善在 SLM 过程中产生的显微缺陷及微观结构以优化机械性能。因此,研究不同后处理对 SLM Ti-6Al-4V 合金的显微缺陷和微观结构的影响具有重要意义。本研究对 SLM Ti-6Al-4V 钛合金经过多种工艺热处理后的显微缺陷和微观结构演化规律进行了系统研究,通过计算机断层扫描(CT)、SEM 和 EBSD 分析,揭示了不同后处理对缺陷特征及 α 和 β 相分布的调控机制,为优化 SLM Ti-6Al-4V 合金后处理工艺提供理论和实验依据。

拟交流类型:口头报告

E07-39

7XXX 系航空铝合金强韧性能调控机理

吴文博、薛程鹏、MOHAMED SULEIMAN ZIADI、杨兴海、苗以升、王俊升*

北京理工大学

为满足轻量化结构件对高强度 7xxx 系铝合金的力学性能需求,本研究选取 AA7097、7B55-Sc 和

AA7034 三种 7xxx 系铝合金铸锭作为研究对象，通过铜模重力铸造制备了高致密度 7xxx 系铝合金铸锭，并结合热力学计算、DSC 等方法设计了均匀化、热轧、固溶、时效热处理工艺，突破了全流程高强韧调控机制。发现三种合金的韧性主要取决于均匀化程度与热轧工艺，而合金的强度主要取决于时效热处理过程中析出相的分布。通过热处理工艺优化，揭示了高性能 7xxx 系铝合金构件的微观组织调控机理。

拟交流类型：口头报告

E07-40

Influence of defects in additive manufacturing of IN718 superalloy on mechanical performance and failure mechanisms

Zhifang Shi, Qiang Zhu*

Southern University of Science and Technology

Additive manufacturing (AM) inevitably introduces various defects during the printing process, significantly affecting the mechanical properties of materials and restricting their industrial applications. Understanding the mechanisms by which these defects influence mechanical performance and lead to failure is therefore crucial. In this study, IN718, a nickel-based superalloy fabricated via selective laser melting (SLM), was investigated with both defect-containing and fully dense specimens. The impact of lack of fusion porosity defects on mechanical properties and damage failure mechanisms was analyzed through in-situ scanning electron microscopy (SEM) tensile and fatigue testing, combined with in-situ X-ray computed tomography (CT) for three-dimensional visualization. The results demonstrate that lack of fusion defects severely degrade tensile properties, reducing elongation by more than half. Furthermore, these defects act as preferential fatigue crack initiation sites, leading to premature fatigue failure. In-situ CT observations reveal that stress concentration occurs around lack of fusion pores, accelerating defect propagation and interconnection after the yielding stage. This ultimately results in a substantial reduction in ductility and early failure. These findings provide deeper insights into defect-induced mechanical degradation in AM components, offering guidance for improving reliability and expanding industrial applications of additive manufacturing technologies.

拟交流类型：口头报告

E07-41

Fe-Mn 阻尼合金激光 3D 打印成型及其性能

李世靖、刘学、季亚奇*

中国工程物理研究院材料研究所

阻尼合金作为一种能通过组织内部的缺陷运动使振动能转化为热能从而耗散的材料，兼具较高的力学性能和一定功能特性，在航空航天、武器装备等领域的开发和研究具有重要意义。其中 Fe-Mn 合金具有可观的阻尼性能同时具备良好的机械性能，近年来备受关注。Fe-Mn 合金制备有多种方法，其中利用激光熔化沉积手段制备 Fe-Mn 阻尼合金的研究较少，以 Fe-Mn 合金为研究对象，基于激光熔化沉积制备方式对不同成分以及不同激光功率 Fe-Mn 合金室温拉伸性能和阻尼性能进行了测试。利用 SEM、TEM 和 EBSD 表征方法进行了显微组织结构表征。结果表明： ϵ 马氏体是影响合金阻尼性能的重要因素。Mn 含量较低时，Mn 含量的增加，合金中 ϵ 马氏体含量增加，有利于提高合金的阻尼性能但合金的室温拉伸性能呈下降趋势。Mn 含量为 17% 时合金阻尼性能最佳，继续添加 Mn，合金 ϵ 马氏体含量下降，阻尼性能因此降低。随着打印激光功率的增大合金 ϵ 马氏体含量增加，激光功率为 1000W 时， ϵ 马氏体含量最高，阻尼性能最佳。继续加大激光功率， ϵ 马氏体含量下降。

拟交流类型：口头报告

E07-42**增材制造高温钛合金的组织等轴化调控**

朱智浩*、牛京喆、张学哲

西北有色金属研究院

高温钛合金凭借其低密度、高比强度、耐高温等特点，在空天装备轻量化制备方面展现出关键作用。增材制造技术为高温钛合金复杂构件一体化成型提供了新途径。然而，增材制造冶金下高温钛合金熔凝前沿形成的熔池尺度小、冷速高，微小熔池快速凝固远离平衡，叠层制备导致热流沿样品堆积方向变化，其组织通常呈现明显外延生长特征。本文针对现有工业高温钛合金增材制造易出现柱状晶、热强性低、抗氧化性能不足等瓶颈，利用团簇式成分设计方法，通过调控添加溶质元素、阻断柱状晶连续生长，实现高温钛合金晶粒细化与等轴晶转变，设计出具有全等轴 β 晶兼具有良好增材制造成形性的高温耐氧化钛合金。

拟交流类型：口头报告

E07-43 **Y_2O_3 纳米颗粒修饰镍基高温合金的可打印性、微观结构和力学性能：激光定向能沉积与粉末床熔融**

訾南

河北工业大学

针对高 Al、Ti、Ta 含量镍基高温合金在增材制造中工艺适应性与高温强度难以协同的挑战，本文设计了一种新型高钴含量（30 wt.%） γ/γ' 相强化合金 ZGH617，通过激光粉末床熔融（LPBF）及激光定向能量沉积（LDED）技术引入 1 wt.% Y_2O_3 纳米颗粒制备氧化物弥散强化合金 ZGH617-YO。研究表明，高 Al、Ti、Ta 含量特性使 ZGH617 合金 γ' 相体积分数显著提升，但在 LDED 中未添加 Y_2O_3 时仍展现宽工艺窗口，其裂纹密度最小为 0.1 mm/mm²；而 Y_2O_3 的引入加剧了高角度晶界处的固态开裂，其中 LPBF 裂纹密度达 1.14–10.91 mm/mm²，这归因于 Y/O 元素偏析与 Al/Ti 富集相交相互作用诱发的晶界脆化。微观组织上， Y_2O_3 在 LPBF 中细化晶粒并诱导 TaC 与 Y_2O_3 共析，LDED 中则因 Y_2O_3 部分分解导致 γ' 相体积分数降低（73.4%→60.2%）；经热等静压（HIP）处理后裂纹有效愈合，且 Y_2O_3 抑制晶界迁移实现组织均匀化。力学性能方面，HIP 态 ZGH617-YO 合金在 1000 °C 下实现强度-塑性协同优化，屈服强度 285 MPa，抗拉强度 380 MPa，延伸率 16.5%，其强化根本在于 Y_2O_3 纳米颗粒、TaC 碳化物及高体积分数 γ' 相对位错运动的协同阻碍。本工作揭示了 Y_2O_3 对增材制造镍基合金“工艺-组织-性能”的复杂影响机制，为开发兼具高强度韧性与良好成形性的新型 ODS 高温合金提供了理论依据。

拟交流类型：口头报告

E07-44**混粉工艺对激光定向能量沉积 NiTiCu 形状记忆合金超弹性的影响**

兰亮*

上海工程技术大学

NiTiCu 合金因其独特的形状记忆效应、超弹性以及优异的生物相容性，在生物医学和航空航天等领域展现出广阔的应用前景。激光定向能量沉积（LDED）作为一种代表性的增材制造技术，为 NiTiCu 合金复杂构件的制备提供了新的途径。然而，通过传统工艺制备的 NiTiCu 粉末仍存在团聚和成分不均匀等现象，显著影响了 LDED 成形 NiTiCu 合金构件的功能特性。因此，本文针对 LDED 成形 NiTiCu 合金的打印工艺，提出两种不同的预先复合混粉方法，即机械搅拌-超声分散法和球磨-超声分散法，系统研究了不同预先混

粉工艺下 LMD 成形 NiTiCu 合金试样的显微组织、物相组成、相变行为以及功能特性，揭示了混粉工艺对 LDED 沉积 NiTiCu 合金试样超弹性的影响机制。

拟交流类型：邀请报告

E07-45

增材制造镁合金研究进展与展望

邓庆琛*、吴玉娟、彭立明、丁文江

上海交通大学材料科学与工程学院

增材制造非常适合于近净成形具有复杂形状的的高附加值航空航天部件，镁合金作为最轻的金属结构材料在航空航天领域具有广阔的应用前景，因此，采用增材制造来制备镁合金及构件可同时实现材料轻量化和结构轻量化的“双轻”效果，是进一步提升镁合金力学性能并扩大其应用的有效途径。目前增材制造制备镁合金的研究主要针对传统的商业化镁合金体系（如 AZ91D、ZK60 和 WE43 等），存在强塑性较低、易开裂、易形成粗大柱状晶等挑战。本研究重点介绍上海交通大学轻合金精密成型国家工程研究中心在四大金属增材制造技术（激光粉末床熔融 LPBF、激光定向能量沉积 LDED、电弧熔丝增材制造 WAAM 和搅拌摩擦增材制造 FSAM）专用高性能 Mg-Gd 系镁稀土合金粉末/丝材制备、成分设计与组织性能调控、专用设备研制和工程样件成形方面的研究进展，并对未来研究的发展方向进行展望。

拟交流类型：邀请报告

E07-46

碳化硅陶瓷极小曲面多孔材料的结构设计及力学性能研究

吴思琪*

福州大学

碳化硅（Silicon Carbide, SiC）陶瓷多孔材料具有低密度、高比强、耐高温、耐磨性好等优异性能，满足材料轻量化需求，可在极端环境中长期稳定服役，因此在航天及摩擦学等领域中具有广阔应用前景。三周期极小曲面（Triply periodic minimal surface, TPMS）多孔材料承载时应力分布均匀，具有更好的力学及抗疲劳性能。但传统陶瓷成形工艺很难实现复杂 SiC TPMS 多孔材料的一体化成形。为此，本文围绕增材制造 SiC 陶瓷极小曲面多孔材料开展了系列研究：采用激光选区烧结技术结合液相渗硅工艺制备均匀 SiC TPMS 多孔材料，优化 SiC 多孔材料成形及后处理工艺参数，揭示 SiC TPMS 多孔材料独特的反应烧结机理；设计不同体积分数及梯度的 SiC TPMS 多孔材料，采用实验法、解析法及有限元法相结合的方式研究几何变化对多孔材料的断裂转变及静力学性能影响机制；进一步探究梯度 SiC 极小曲面多孔材料的动态疲劳特性，重点探索其疲劳失效及强化机制。本文的研究为 SiC TPMS 多孔材料在工程领域的应用提供重要理论基础。

拟交流类型：口头报告

E07-47**Laser powder bed fusion printed poly-ether-ether-ketone/bioactive glass composite scaffolds with dual-scale pores for enhanced osseointegration and bone ingrowth**

Haoze WANG, Peng CHEN, Chunze YAN*

Huazhong University of Science and Technology

Although poly-ether-ether-ketone (PEEK) implants hold significant medical promise, their bioinert nature presents challenges in osseointegration and bone ingrowth within clinical contexts. To mitigate these challenges, the present study introduces Diamond PEEK/bioactive glass (BG) composite scaffolds, characterized by macro/micro dual-porous structures, precisely fabricated via laser powder bed fusion (LPBF) technology. The findings indicate that an increase in BG content within these scaffolds significantly augments their hydrophilicity and hydroxyapatite formation capacities. Stress-strain curve analysis demonstrates reliable load-bearing stability across all scaffold types. In vitro assessments confirmed the non-cytotoxicity of PEEK/BG samples and demonstrated improved osteogenic differentiation and mineralization with increased BG incorporation. Further, in vivo experiments illustrated that the Diamond porous structure of these scaffolds facilitated bone growth, an effect notably amplified with higher BG content. Particularly in groups with 15 wt.% and 25 wt.% BG scaffolds, new bone formation was observed not only within the macropores of the Diamond structure but also within the micropores inside the scaffold rod, suggesting an almost seamless fusion with the new bone. This demonstrates the scaffolds' effective osteointegration and bone ingrowth properties. This study conclusively established the effectiveness of Diamond-structured PEEK/BG composite scaffolds, fabricated via LPBF, in bone repair. It highlights the crucial role of BG in enhancing osteogenic potential through interaction with the macro/micro pores of the scaffold. Statement of significance This study addresses the bioinert nature of PEEK implants by developing Diamond-structured PEEK/bioactive glass (BG) composite scaffolds by laser powder bed fusion. The dual-porous macro/microstructure enhances hydrophilicity and hydroxyapatite formation, vital for bone regeneration. By adjusting the BG content, we controlled the melt viscosity and sintering rate, leading to the formation of beneficial microscale pores. These pores resolve the issue of ineffective bioactive fillers in previous LPBF-fabricated scaffolds, enhancing the osteogenic potential of BG and inducing superior bone ingrowth and osseointegration. In vitro and in vivo analyses show enhanced osteogenic differentiation, mineralization, and bone growth, underscoring the clinical potential of these scaffolds for bone repair.

拟交流类型：口头报告

E07-48**激光粉末床熔融成形梯度多孔钛植入体的结构设计 with 有限元模拟分析**

陈明营、刘亚猛*

北京科技大学

本文以梯度多孔钛牙种植体为研究对象，设计了一种梯度多孔结构种植体，种植体外部孔径大、孔隙率高，内部孔径小、孔隙率低。通过有限元模拟分析，研究了梯度多孔种植体的力学性能以及多孔种植体和骨组织的生物相容性。采用激光粉末床熔融（LPBF）技术成功制备出所设计的基本单元为扇体的梯度多孔结构柱体，对打印出来的结构进行了压缩性能测试，结合实验结果与有限元分析，结果表明，当孔隙率为 59.86% 时，即梯度多孔结构柱的柱宽为 0.25 mm 时，种植体的力学性能和生物适应性最佳。

拟交流类型：口头报告

E07-49

选区激光熔化钛合金零件化学抛光技术研究

颜国庆*

上海理工大学

选区激光熔化技术具有“粉末成形”和“分层制造”的优势，可以实现传统减材制造难以完成的复杂钛合金零件，在航空航天方面有着广泛应用。然而，由于阶梯效应、球化效应和粉末黏附效应的影响，选区激光熔化钛合金零件表面异常粗糙，往往需要后处理抛光技术来消除表面缺陷。常见的后处理抛光技术有机械抛光、磨粒流抛光、电化学抛光和化学抛光等，机械抛光对于复杂表面难以实现接触，容易造成表面抛光不均匀；磨粒流抛光需要定制专用夹具和磨料载体，且对细小区域无法抛光；电化学抛光需要定制抛光面相符合的电极，且对于细小区域无法抛光。而化学抛光技术通常只需要将钛合金零件浸泡在化学溶液中就可以抛光，能够有效消除选区激光熔化钛合金零件表面缺陷。本研究基于 HF-HNO₃ 体系抛光液，系统地研究了化学抛光工艺参数对钛合金抛光效果的影响。研究表明：随 HNO₃ 浓度的增大，合金表面粘附粉末数量先减少后增多，粗糙度先降低后提高，失重率、减薄率和光泽度先增大后减小；随抛光时间的延长，反应速率加快，合金表面粘附的粉末逐渐去除，粗糙度逐渐降低（13.34 μm→1.37 μm），失重率、减薄率逐渐增大，光泽度显著提升（0.9 Gu→150.5 Gu）。

拟交流类型：口头报告

E07-50

钛铁矿含量对激光定向能量沉积玄武岩质模拟月壤成形性能及微观组织演变的影响

胡昭¹、陈鹏*¹、刘凯¹、闫春泽²

1.武汉理工大学

2.华中科技大学

月壤的原位利用离不开成型技术的开发与研究，定向能量沉积技术是一种直接制造出实体零部件的增材制造技术，可实现高熔点材料的任意形状制造。通过激光定向能量沉积技术将不同钛铁矿含量的玄武岩质模拟月壤粉末在耐火砖基板上打印成形，随后通过高温热处理（1100℃）得到不同钛铁矿含量的玄武岩质模拟月壤试样块，研究了钛铁矿含量对激光定向能量沉积成形性能、力学性能的影响规律；通过对试样内部的孔径统计，分析了激光定向能量沉积、钛铁矿含量对玄武岩质模拟月壤内部微观组织结构演变的影响。研究结果得出高钛铁矿含量降低了试样的熔点，易于打印成形，热处理后，致密化程度更高，其力学性能更好；激光成形时，随着氧化铁和四氧化三铁的转换，成形试样内部出现较多圆形气孔，阻碍了致密化过程，内部微观组织结构出现钛铁矿物相，热处理后，高含量的钛铁离子易进入辉石、橄榄石相晶格中，促进烧结致密化。

拟交流类型：口头报告

E07-51

定向能量沉积成形高地辉长岩质模拟月壤的成形机理与力学性能研究

张璐¹、陈鹏*¹、刘凯¹、闫春泽²

1.武汉理工大学

2.华中科技大学

定向能量沉积技术(DED)具有高原位资源利用率的特点，是复杂建筑结构月面原位建造的有效技术手段。然而，定向能量沉积成形模拟月壤的作用机理并不清晰，这是力学性能提升的关键。为此，本报告以高地辉长岩质模拟月壤为原料，研究了不同能量密度下月壤微观结构演化和成形机理，分析了其性能提升

机制。结果表明：在激光作用下，月壤由辉石、闪石和长石等晶体变为玻璃相。成形过程中，闪石等矿物发生去羟基化，碳酸盐和硫酸盐发生分解，引起 O-H、O=C=O、S-O 的振动，释放 H₂O、CO₂ 和 SO₂。成形件抗压强度最高可达 5.32 MPa。经烧结后，抗压强度最大可达 47.56 MPa，较于相同能量密度下提升近 24 倍。与成形件相比，热处理后物相变为辉石、橄榄石和长石，析出柱状、针状和厚板状的晶体。烧结过程减少了构件内部孔隙缺陷（包括气泡、裂纹等），通过晶体的均匀排布和玻璃相的减少实现力学性能协同提升。

拟交流类型：口头报告

E07-52

月面微重力环境下平顶激光原位增材制造热力学行为仿真与工艺优化

姜诚馨^{*1}、陈鹏²、闫春泽¹、史玉升¹

1. 华中科技大学
2. 武汉理工大学

随着深空探测与航天技术的发展，月球基地原位建造作为深空探测的关键跳板备受关注，而月面微重力（1/6G）环境下的增材制造技术仍存理论与技术空白。本研究以斜长岩质模拟月壤为对象，基于 ANSYS 平台构建激光定向能量沉积（L-DED）多场耦合仿真模型，融合有限元法 - 计算流体力学（FEM-CFD）耦合方法，通过 APDL 编程实现移动平顶激光热源加载，系统分析微重力环境对成形过程的热力学影响机制。结果表明：微重力条件下材料累积变形量较地球重力（1G）提升 2.3-3.7 倍，等效应力沿沉积高度呈梯度递减；平顶光源因能量分布均匀，使加工试样温差降低 30% 以上，有效抑制热应力集中导致的开裂与翘曲。研究定量揭示了重力 - 热 - 力多场耦合作用规律，为月球基地原位建造中激光增材制造的工艺参数优化提供关键理论支撑，对月面复杂结构件的可靠成形具有重要工程指导意义。

拟交流类型：口头报告

E07-53

增材制造高性能 NiTi 记忆合金原位复合材料

冯博*

河海大学材料科学与工程学院

对于以 NiTi 形状记忆合金为基体的原位复合材料，其软-硬相间匹配与可逆马氏体相变或去孪晶变形具有强交互作用，通常可展现出新奇的功能特性。传统制备材料的粗大复合组织以及高脆性极大得限制了其可展现的性能极限，通过磁控溅射、叠轧或冷拔等方法制备的纳米复合材料可以呈现极其优异的性能，但是其高度的各向异性和简单的几何形状同样限制了其应用前景。本报告展示了通过 LPBF 技术成功制备出具有优异成型质量的 NiTiCuCo 和 NiTiSn 原位复合材料，都展现出了被显著细化的复合组织尺寸和远优于传统制备材料的功能特性，并揭示了优异性能背后的独特微观相变和变形行为，以及更加显著的相间耦合协同机制。通过 LPBF 制备的 NiTiCuCo 和 NiTiSn 原位复合材料不仅可以满足结构件的定制化需求，而且细化的复合材料可以表现出传统铸造无法实现的优越性能。对相间微观耦合行为的理解可以为其他功能特性的 SMA 基原位复合材料的设计和制备提供指导，从而提升其作为功能结构材料的应用前景。

拟交流类型：口头报告

E07-54

激光粉末床熔融制备高性能难打印 7075 铝合金的成分改性研究

贾振东、舒巧因、陈彪*、李金山、张平祥

西北工业大学

本研究针对激光粉末床熔融 (LPBF) 成形 Ti 改性 AlZnMgCu 合金中两大关键问题: 典型双峰组织造成的各向异性, 以及 Al₃Ti 相不稳定, 易转变为 D0₂₂-Al₃Ti 脆性相诱发力学性能下降的问题, 提出了双重协同策略: 即从晶粒全等轴化与相结构调控双维度突破性能瓶颈。为解决 Ti 改性 AlZnMgCu 合金中双峰组织难题, 提出基于 Mg-Ti 协同效应的自组装 MgAl₂O₄/Al₃Ti 分级结构高效异质形核剂设计, 成功实现 LPBF 铝合金全等轴晶组织。针对 Al₃Ti 不稳定问题, 提出碳 (C) 元素微合金化策略, 抑制了脆性 D0₂₂-Al₃Ti 相形成, 使 AlZnMgCuTi 合金延伸率提升 118% 的同时抗拉强度同步提高 23%, 实现强塑性协同优化, 并系统揭示 C 对 L1₂→D0₂₂ 结构转变的抑制机制。本研究通过 Mg-Ti 协同效应从介观尺度重构凝固路径, 而 C 微合金化从原子尺度调控相稳定性, 二者结合为增材制造铝合金的强韧化与各向同性调控开辟了新途径。

拟交流类型: 口头报告

E07-55

TiB₂ 颗粒增强 AlCuMg 复合材料经固溶处理同步提升耐腐蚀性能和机械性能孙腾腾*¹、母杰瑞²

1. 上海船舶动力创新中心有限公司

2. 上海交通大学

为契合国际海事组织 (IMO) 关于减少国际航运业温室气体排放的初步战略以及“碳达峰、碳中和”倡议, 下一代船用发动机必须将轻量化结构、高可靠性和环境可持续性放在首位。2xxx 系 AlCuMg 合金因其优异的性能, 一直被广泛视为制造船用发动机、飞机机身和机翼结构的理想材料。因此开发兼具高强度与优异耐腐蚀性的增材制造 (AMed) 铝合金, 是海洋与航空航天领域轻量化结构应用的核心目标。然而, 大多数增材制造铝合金存在粗大柱状晶粒和相分布不均的问题, 这些缺陷会加剧电偶效应并严重损害其耐腐蚀性。研究通过在质量分数为 3.5% 的氯化钠溶液中进行金属均匀腐蚀浸泡试验和电化学腐蚀试验, 探究了经不同热处理的增材制造 AlCuMg 合金以及 TiB₂/AlCuMg 复合材料的腐蚀行为与机制。试验结果表明, 经固溶处理之后的 TiB₂/AlCuMg 复合材料展现出良好的耐腐蚀性和机械性能。本研究为具有优异综合性能的增材制造铝基复合材料提供了理论基础。本研究的主要结论如下: (1) 浸泡腐蚀试验和电化学试验表明, 在质量分数为 3.5% 的氯化钠溶液中, TiB₂/AlCuMg 复合材料的耐腐蚀性优于增材制造 AlCuMg 合金, 其具有更高的钝化电位和更低的腐蚀电流密度; (2) 原位 TiB₂ 纳米颗粒的引入显著提高了微观结构的均匀性, 从而改善了钝化膜的稳定性和一致性, 有效地减轻了通常由颗粒自身引起的阴极效应; (3) 固溶处理后, 由于初生阴极相 Al₂Cu 的尺寸减小且分布均匀性提高, TiB₂/AlCuMg 的腐蚀速率降低。因此, 阴极效应相对减轻, 腐蚀电流密度降低了 76.7%。此外, 固溶处理的 TiB₂/AlCuMg 的抗拉强度提高了 33%; (4) 人工时效处理后, 铝基体中大量 S 相的形成放大了阴极效应, 同时微电池数量的增加促进了晶间裂纹的发展, 导致耐腐蚀性下降; (5) 对于具有细化晶粒结构的增材制造金属, 固溶处理可以有效地控制阴极相的析出行为, 显著减轻电偶腐蚀对钝化膜稳定性的影响。同时, 固溶强化可以提高材料的机械性能, 实现了耐腐蚀性和强度提升的双重效益。

拟交流类型: 口头报告

E07-56

增材制造 Fe40Co18Cr18Ni14Al5Ti5 高熵合金制备及其冲击韧性研究

殷玉朕、潘杰*、林研、宋森、柳林

华中科技大学

增材制造技术由于固有的设计适应性及构建独特结构的能力，在高熵合金制备领域备受青睐。然而，加工窗口狭窄、机械性能较差等因素仍是增材制造高熵合金所面临的重大挑战。本研究成功开发出一种适用于激光粉末床熔融（L-PBF）技术的新型 Ni₄₀Co₁₈Cr₁₈Fe₁₄Al₅Ti₅ 高熵合金，该合金不仅具有较宽的工艺窗口，也展现出优异的力学性能。打印样品近乎完全致密，其组织呈现近等轴晶特征，无明显织构，晶粒内存在大量的位错胞，并在胞界伴随明显的元素偏析。该合金在不同打印参数下均展现出卓越的力学性能，其优化样品的屈服强度可达 811 MPa，并保持 29% 的塑性延伸率。由于不存在脆性析出相或严重加工缺陷（此类缺陷通常作为裂纹源存在），裂纹尖端前方位错、层错、孪晶等机制得以有效激活。这些机制的协同作用也使该合金获得卓越的冲击韧性（约 1600 kJ/m²）与动态裂纹萌生韧性（约 1000 kJ/m²）。

拟交流类型：口头报告

E07-57

基于位错的增材制造 Ni58Cr23Fe10W5Ti2Ta1Nb1 中熵合金的析出强化调控

王松宇、何峰*

西北工业大学

本研究采用激光定向能量沉积（L-DED）技术成功制备了 DO22 相强化合金单臂墙结构，系统研究了制备过程中合金内位错演化以及对力学性能空间分布的影响。实验结果表明，沉积态合金的力学性能沿构建方向呈现显著的梯度分布特征，具体表现为：顶部区域的强度显著低于其他位置，这种非均匀性与织构演变、晶粒尺寸分布的梯度变化规律高度一致。微观分析表明，沉积过程中形成的位错梯度是导致性能空间异质性的主导因素，进一步定量分析了各类强化机制的贡献。此外，在 L-DED 工艺所产生的残余应力场作用下，直接时效处理促使残余应力的部分释放和均匀化，并显著改变了 DO22 相的析出动力学，诱导三种变体比例重构，最终导致时效态合金在不同高度上的性能趋于一致，但产生取样方向上的性能产生差异。该研究为 L-DED 制备 DO22 型沉淀强化合金的微观组织精准调控提供了重要的理论基础。

拟交流类型：口头报告

E07-58

增材制造 Ti-1Al-8V-5Fe 合金的显微组织与力学性能

周全*

宝钛集团有限公司

亚稳 β 钛合金 Ti-1Al-8V-5Fe（Ti-185）自发明以来基本上一直作为试验性合金，因为在传统制造过程中会形成铁稳定的 β 斑点。增材制造技术中微熔池的快速冷却能够抑制 Ti-185 合金中 β 斑的形成，同时可实现合金的原位时效。因此我们研究了 Ti-185 合金的激光定向能量沉积（L-DED）增材制造。研究表明，L-DED Ti-185 合金中无明显 β 斑，沿成形高度的析出相对其拉伸性能有决定性影响。Ti-185 合金的顶部区域形成了脆性等温 ω 相，表现出零塑性；而中间区域则没有 ω 相，表现出良好的拉伸延展性（20%）和强度（1042 MPa）。β 退火和水淬可将合金中等温 ω 相转化为非等温 ω 相，使合金恢复了拉伸延展性。利用 Simufact 仿真软件对 L-DED Ti-185 合金中的温度演变进行数值模拟，并阐明了每种相的形成过程。

拟交流类型：口头报告

E07-59

热等静压对选区激光熔化 FeNiCrMn 高熵合金显微组织及高温力学性能的影响

陈梦瑶、钟巍华*

中国原子能科学研究院

核电压水堆严苛的环境对结构材料的性能提出了更高的要求。相比于传统合金，多主元的 FeMnNiCr 高熵合金展现出优异的性能。本研究采用选区激光熔化 (SLM) 技术制备了 $\text{Fe}_{21.4}\text{Ni}_{50}\text{Cr}_{7.2}\text{Mn}_{21.4}$ 高熵合金，随后对 SLM 成型试样进行了热等静压 (HIP) 处理。分析了 SLM 成型试样的凝固形成机制和 HIP 对试样微观组织和高温力学性能的影响。SLM 成型高熵合金为 FCC 相，显微组织为指向熔池中心方向定向生长的树枝晶，Mn 元素在枝晶晶胞处富集。经 HIP 处理后，试样致密度提高，熔池形貌保留，晶粒尺寸变大，枝晶消除，Mn 元素偏析消除。HIP 处理前后抗拉强度相当，延伸率由 17% 增长至 35%，断裂机制由准解理断裂与韧性断裂机制转变为韧性断裂。HIP 处理提高试样致密度降低材料缺陷，使合金成分均匀化，是高熵合金延伸率大幅提高的主要原因。

拟交流类型：口头报告

E07-60

3D 打印碳纤维增强复合材料界面性能影响因素研究

董磊*

宁夏大学

3D 打印连续碳纤维增强复合材料的界面强度是影响其力学性能的关键因素。本文提出了一种新型的界面强度测试方法，可用于直接测试纤维丝束-树脂基体的微观界面强度。基于该方法，研究了连续碳纤维增强 PA6-CF/GF 两种复合材料中打印温度、挤出速度、层厚、纤维体积分数等工艺参数对界面强度的影响规律。结果表明，温度和挤出压力的增加有利于分子链融合交织，提升界面强度，但是过高的温度和挤出压力会造成成型不良，影响界面性能。

拟交流类型：口头报告

E07-61

利用多维超声振动辅助提高 3D 打印 CF-PLA 复合材料的机械性能

赵言博、丁庆军*

南京航空航天大学

为提升熔融沉积成型 (FDM) 碳纤维增强聚乳酸 (CF-PLA) 复合材料的界面结合质量与力学性能，本文提出了一种多维超声振动辅助打印策略。利用自主研发的振动辅助 3D 打印平台，系统研究了 Z 向、Y 向及 Z+Y 双向耦合振动对打印质量、孔隙率、表面粗糙度、纤维取向及宏观力学性能的影响。实验结果表明，适度的单向振动分别可改善层间 (Z 向) 及丝间 (Y 向) 的界面熔合效果，而双向耦合振动在熔体扰动、纤维重构与微观结构致密化方面表现出显著的协同效应。与未振动样品相比，双向振动样品的拉伸强度、弯曲强度和冲击强度分别提升了 42.7%、46.2% 和 65.2%；同时，孔隙率由 17.87% 降至 7.09%，中值孔径由 $126.85\ \mu\text{m}$ 降至 $22.95\ \mu\text{m}$ ，表面粗糙度降至 $12.30\ \mu\text{m}$ 。断面 SEM 分析进一步揭示了多轴振动促使纤维多向排列、增强界面连续性的作用机制。总体而言，本研究验证了多维超声振动在提升 FDM 复合材料结构致密性与性能均匀性方面的显著优势，为高性能 3D 打印复合材料的设计与制造提供了理论支撑与技术路径。

拟交流类型：口头报告

E07-62**激光粉末床熔融成形 304L-Inconel718 双金属界面裂纹的形成机理与抑制方法**李映晖¹、刘壮壮¹、魏征宇¹、胡鹏飞¹、陈家旺¹、刘立静²、束国刚²、谢建新*¹

1. 北京科技大学

2. 中国联合重型燃气轮机技术有限公司

多材料增材制造对于复杂的组件制造至关重要，但多材料界面处依然存在裂纹和结合强度弱等挑战。本研究以在航空航天及核能领域具有重要应用场景的奥氏体不锈钢 304L-镍基高温合金 Inconel718 双金属构件为对象，研究了激光粉末床熔融（L-PBF）成形的 304L - Inconel718 双金属界面裂纹形成机理与抑制方法。结果发现，发现界面裂纹主要发生在成分过渡区，其中 304L 的比例在 45wt.%至 75wt.%之间，该区间内存在较多长链状沿晶界分布的 Laves 相。L-PBF 成形实验与熔池有限元模拟发现，熔池平均温度梯度（G）与平均晶粒生长速率（R）之比（G/R）较大时，凝固组织以长而直的柱状晶为主，这导致在晶界处形成连续的液膜和条状 Laves 相，从而在 L-PBF 过程中产生界面裂纹。为了抑制这些裂纹的产生，本研究提出通过将 G/R 比值控制在临界值以下（ $<147.9 \times 10^6 \text{ K}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ），并结合 L-PBF 过程中的高冷却速率（ $G \times R$ ），通过促进二次枝晶的生长形成曲折晶界，实现了发达的二次枝晶结构和晶粒细化，显著增强了晶界曲折性，形成了离散分布的 Laves 相，抑制了界面裂纹的产生。本研究提出的通过操纵晶界形态来调整脆性沉淀物分布的方法为抑制多材料增材制造中的裂纹提供了一种新颖实用的途径。

拟交流类型：口头报告

E07-63**Macro-micro structure controlled hierarchical porous copper catalysts via laser powder bed fusion and chemical dealloying of a FeCoNiCu high-entropy alloy**

Xueting Zhu, jili cai, chao cai*, yusheng shi

Huazhong University of Science and Technology

Hierarchical porous catalysts constructed via 3D printing and dealloying, utilizing high-entropy alloys (HEAs) precursors, present new opportunities for enhanced catalytic performance. This study reports the fabrication of a hierarchical porous catalyst with a controllable structure, where the macroscopic framework is derived from a triply periodic minimal surface (TPMS) model of a FeCoNiCu HEA, synthesized via laser powder bed fusion (LPBF). The introduction of microscopic porosity is achieved through a subsequent dealloying process. Post-dealloying, the FeCoNiCu HEA surface is adorned with adjustable Cu submicron rods, with an average diameter ranging from 280 to 820 nm. The sample exhibited an 8.6-fold increase in catalytic activity for the degradation of Rhodamine B compared to the pristine FeCoNiCu HEA. The catalyst maintained nearly 100% degradation efficiency after 50 cycles. This approach integrates the inherent high catalytic activity of HEAs with the advantages of hierarchical structures to facilitate mass transfer, thereby providing a novel paradigm for developing HEA-based, high-performance porous catalysts for sewage treatment processes.

拟交流类型：口头报告

E07-64**激光增材制造修复 CM247LC 柱状晶叶片外延生长行为研究**

齐晓红、刘壮壮*

北京科技大学

燃气轮机涡轮叶片在高温，腐蚀以及复杂应力环境下，叶顶容易磨损甚至断裂，通常采用修复的方式降

低叶片维护成本,但传统焊接修复具有热影响区大,焊后组织退化的问题,降低了修复叶片的服役寿命。采用激光粉末床熔融(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)修复 CM247LC 柱状晶叶片,具有热影响区小,可实现柱状晶组织接续的优势。采用不同晶体取向的柱状晶基板模拟受损柱状晶叶片,研究基板晶粒形貌(柱状晶与等轴晶)和取向(基板 $\langle 001 \rangle$ 取向//成形方向(Building Direction, BD), $\langle 111 \rangle$ //BD, $\langle 110 \rangle$ //BD)对修复区晶粒外延生长的影响规律。结果表明,采用 $\langle 001 \rangle$ //BD 柱状晶基板与等轴晶基板的修复区中取向晶粒的含量分别为 94.2%和 11.1%,柱状晶基板较等轴晶基板更利于柱状晶的外延生长;不同晶粒取向的基板对修复区 $\langle 001 \rangle$ 织构含量影响显著,修复区 $\langle 001 \rangle$ 织构含量从高到低依次为: $\langle 001 \rangle$ //BD 柱状晶基板,为 94.2%; $\langle 110 \rangle$ //BD 柱状晶基板,为 34.0%; $\langle 111 \rangle$ //BD 柱状晶基板,为 24.4%。此外,研究了激光功率与扫描速率,扫描间距以及层厚对柱状晶粒外延生长行为的影响。结果表明,随激光功率或扫描速率增加,L-PBF 成形 CM247LC 中 $\langle 001 \rangle$ 织构含量呈先上升后下降的规律。扫描间距以及层厚的降低促进了 $\langle 001 \rangle$ 取向晶粒的外延生长。因此,通过 L-PBF 成形过程工艺参数的研究,表明了激光增材制造可实现 CM247LC 柱状晶叶片外观及组织的同时修复。

拟交流类型: 口头报告

E07-65

激光选区熔化成形难熔高熵合金裂纹形成与抑制机制研究

万宏远*、张泽鑫、陈玮

中国航空制造技术研究院

Refractory high-entropy alloy (RHEA) has great potential in the field of hypersonic vehicles due to its outstanding high-temperature strength above 1600°C. However, the intrinsic room-temperature brittleness and high cracking susceptibility during laser additive manufacturing severely limit its application. Thus, this paper aims to investigate the crack formation mechanism and suppression method of the selective laser melted (SLM) RHEA. Taking the grain boundary (GB) characteristic as the breaking point, the crack formation mechanism can be clarified by establishing a complete relationship between the crack, residual stress, and GB characteristic. On this basis, an idea of modulating the GB characteristic with the addition of B element is proposed to simultaneously improve the printability and high-temperature mechanical properties of the SLM-RHEA. Our findings will lay a theoretical foundation for the fabrication of large-sized RHEA components via SLM and promote their applications in the field of hypersonic vehicles.

拟交流类型: 口头报告

E07-66

Friction behavior of Ti6Al4V fabricated using wire arc additive manufacturing with magnetic arc oscillation

Ying Cao*

Ningxia University

In this study, Ti-6Al-4V alloy was fabricated using wire arc additive manufacturing with and without different magnetic arc oscillation (MAO) patterns, and the friction behavior of as-fabricated thin wall structures were comparatively evaluated. The relationships between friction characteristics and microstructures, including grain orientation, kernel average misorientation (KAM) and grain orientation spread (GOS) and elastic modulus, were fully explored. The results show that the magnetic arc oscillation, including both arc oscillation along the travel direction (AL) and arc rotation (AR), can bring enhanced wear resistance to the alloy, which mainly attributes to the string effects on the melt pool and subsequent grain refinement for the microstructure. Meanwhile,

it is found that the different locations of specimens display various wear resistance performance in where the convex band region is superior to that of the parallel band region. This is related to refined α grains, increased grain boundaries, enhanced dislocation density, reduced elastic modulus, and increased elastic deformation. The research outcomes are beneficial to understanding the wear mechanism of WAAM-produced Ti6Al4V alloy and further fabrication process optimization.

拟交流类型：口头报告

E07-67

Corrosion and frictional behavior of Al-Zn-Mg-Cu-Sc alloy fabricated using wire arc additive manufacturing

hong yang*

Ningxia University

This study evaluated the corrosion and friction properties of Al-Zn-Mg-Cu-Sc alloy components prepared by wire arc additive manufacturing (WAAM). Through a systematic analysis of the correlation between the corrosion resistance and wear resistance of the specimens and the microstructure (including grain size and grain orientation spread, etc.), it was found that the introduction of Sc element can improve the stability of the specimens in a corrosive environment to a certain extent, and there is a difference in the average friction coefficient between the specimen deposition direction and the welding torch movement direction. The mechanism is as follows: The introduction of Sc element forms the Al₃Sc phase, which serves as a heterogeneous nucleation site and causes a pinning effect to refine the α (Al) grains and increase the number of grain boundaries. These structural characteristics promote the formation of an oxide film on the surface of the Al-Zn-Mg-Cu-Sc alloy, which plays a certain role in hindering the reaction of the alloy in the corrosive medium. The difference in friction properties between the two directions is inferred to be due to the differences in grain size and orientation spread in these two directions. The research shows that the main wear mechanisms of the alloy in a dry friction environment are oxidative wear, adhesive wear, and abrasive wear. This study reveals the corrosion and friction mechanisms of Al-Zn-Mg-Cu-Sc Sc prepared by WAAM, providing research ideas for improving the performance and service life of wire arc additive manufacturing components.

拟交流类型：口头报告

E07-68

激光粉末床熔融粉末飞溅的同步辐射非原位和原位研究

刘玘、王丽娟、叶祖贤、张书雅、熊良华*、董安平、孙宝德

上海交通大学材料科学与工程学院

激光粉末床熔融中粉末飞溅行为是影响打印构件成形质量与工艺稳定性的关键因素。传统实验手段时空分辨率不足，对激光与粉末床瞬态超快交互作用过程难于多角度在线观测。我们创新应用同步辐射快速成像技术，以微秒时间分辨和微米空间分辨来原位研究不同工艺参数下粉末床飞溅行为，量化熔池演化全生命周期过程中粉末飞溅参数，阐明粉末飞溅的主导驱动力和关键工艺影响因素；同时结合可见光及红外高速成像技术，定量解析蒸气反冲力、马兰戈尼效应及保护气流的耦合作用对飞溅轨迹的影响，量化分析蒸气羽流对粉末飞溅影响机制，提出粉末飞溅抑制策略。同步辐射非原位和原位研究协同实现激光增材制造动态过程与静态结果的闭环验证，为优化能量输入、抑制飞溅诱导缺陷及开发主动调控策略提供了跨尺度实验依据，将推动激光粉末床熔融技术向高精度和高可靠性方向发展。

拟交流类型：口头报告

E07-69**侧向滚动摩擦增材制造对微观组织和机械性能的影响研究**

刘海、邓同生*

江西理工大学

本研究介绍了一种使用板材的新型侧向滚动摩擦增材制造 (L-RFAM)。工艺优化侧重于侧向沉积方向，这增加了摩擦工具和板材之间的接触面积，以确保有足够的热量输入来实现高质量的沉积。金属结构的固态制造是使用铣刀实现的，铣刀具有正交相交的垂直和水平凹槽作为工具头。为了研究 L-RFAM 过程中材料的形成机制，分析了沉积样品的表面形貌、微观结构演变和性能。在本工作中，使用 L-RFAM 成功制备了 Al-Mg-Si-Sc 合金。沉积样品表现出等轴细晶微观结构。界面结合区的极限抗拉强度 (UTS) 达到母材的 95%，其伸长率 (EL) 提高了 27.5%。添加剂区域的拉伸强度 (UTS) 降低了 21.5%，但其伸长率 (EL) 增加了 50%。L-RFAM 展示了固态增材制造的巨大潜力，并为材料修复、梯度制造和小型化的未来应用提供了基本见解。

拟交流类型：口头报告

E07-70**铜合金表面激光熔化沉积钛基复合材料的成形特性与磨损性能研究**黄长林^{1,2}、凌鑫伟^{1,2}、华林^{1,2}、谢乐春^{*1,2}

1. 高温轻合金与应用技术全国重点实验室，武汉理工大学，湖北 武汉 430070

2. 现代汽车零部件技术湖北省重点实验室，武汉理工大学，湖北 武汉 430070

铜基材料具有出色的导电性和导热性，因此被广泛应用于工程领域。然而，硬度和耐磨性差限制了其使用寿命。为了提高铜基材的硬度和耐磨性，使用激光熔化沉积在 CuCrZr 表面沉积了钛基复合材料 (TiC/Ti-6Al-4V)。为了解决铜合金对激光辐射过高反射率的问题，采用冷喷涂方法预先在基底表面沉积厚度约为 100 μm 的纯钛过渡层，该方法能有效降低激光反射，提高激光能量利用率。在激光熔化沉积之前，将基底预热至 300 °C，能减轻热应力所引起的界面开裂并提高界面结合强度。通过优化激光功率与扫描速度，实现 CuCrZr 表面沉积高致密度的钛基复合材料涂层。结果表明，通过对比预热的 CuCrZr 表面、喷丸处理、冷喷涂处理以及未预热的冷喷涂基底，发现经预热的冷喷涂基底试样成型界面缺陷显著减少。在 375 J/mm² 的能量密度下，实现了高致密度的钛基复合材料沉积层。TiC/Ti-6Al-4V 复合材料的摩擦系数为 0.35，约为 CuCrZr 摩擦系数的一半。经过钛基复合材料的熔覆后，其电导率为 62% IACS，保持了 CuCrZr 原始电导率的 80%。该研究从激光工艺参数优化、基底表面强化方法、导电性能、耐磨性等方面全面阐述了 CuCrZr 表面熔覆钛基复合材料的成型特性，可为铜基等高反射率材料表面强化提供一种方法。

拟交流类型：口头报告

E07-71**特殊热处理同时提高新型 LPBF 镍基高温合金的室温强塑性**

徐博洋、孔德成、卫东雨、祝国梁*

上海交通大学

热处理对材料的性能影响十分关键，通过热处理调控析出相和晶界是实现材料性能提升的有效手段。本工作中，针对 LPBF 成形的新型镍基高温合金进行了基于自固溶温度缓慢冷却的多种热处理制度研究，获得了析出相和碳化物呈现不同尺寸和分布的显微组织，以及不同弯曲程度的弯曲晶界。结果显示，固

溶时间为 0，通过缓慢冷却冷并进行回溶热处理，再进行时效热处理的样品，获得屈服强度 1010.7 MPa，抗拉强度 1516.3 MPa，断裂延伸率 20.1%的优异室温力学性能。这些发现为其它 LPBF 成形镍基高温合金的热处理设计提供了见解。

拟交流类型：口头报告

E07-72

激光粉末床熔融熔池形态对高温合金单晶外延生长及凝固组织演变的影响

彭逸琦、李翔宇、赵宇凡*、林鑫

西北工业大学

高温合金单晶涡轮叶片作为航空发动机热端的关键部件，需在高温、高压及复杂应力耦合环境下长期服役，常面临尖端烧蚀、边缘缺失和材料磨损等失效问题。由于直接更换损伤叶片成本高昂，“以修代换”成为一种经济高效的解决方案。增材制造凭借其高度自由的设计能力与精确的成形特性，不仅能够实现复杂工况下叶片结构的精准匹配，还可通过快速非平衡凝固过程优化组织性能，已逐渐发展为修复单晶涡轮叶片的重要技术路径。激光粉末床熔融（L-PBF）技术作为典型的增材制造方法，具备高成形精度与陡峭温度梯度等优势，有利于晶体外延生长，从而实现高质量的单晶叶片修复。然而，在高温合金外延凝固过程中，晶体组织的连续性难以维持，枝晶生长方向易发生偏转，沉积区域也容易形成杂晶缺陷。为此，本研究选取两种具有代表性的高温合金材料（In738 和 DD432），基于“热流矢量-熔池形态-晶体生长”的调控策略，系统研究了 L-PBF 沉积过程中枝晶生长行为及杂晶缺陷的形成机制与演化规律。通过具有统计意义的 60 组单道沉积试验及具备典型熔池形态的多道多层沉积试验，总结并归纳了两种合金在不同成形尺度下的外延生长特征与规律。本研究的最终成果与主要结论如下：

基于具备统计特性的单道沉积试验，系统对比了不同熔凝条件下晶体外延生长及其转向行为。针对杂晶生成问题，在原有“杂晶易形成于枝晶转向交汇区域”的“边界理论”基础上，结合模拟进一步提出：杂晶的产生同时受凝固过程中热流矢量的标量特性（温度梯度与凝固速率）与矢量特性（温度梯度和凝固速率与枝晶生长方向之间的夹角）共同作用，构建了适用于 L-PBF 单晶外延生长过程的杂晶生成“边界区域理论”。同时结合 In738 和 DD432 两种典型高温合金，探讨了合金成分对杂晶生成行为的差异性机理；

基于具有典型熔池形态的多道多层沉积试验，研究发现双向扫描策略与熔池形态的协同作用会导致外延组织取向发生周期性偏转，并随着 L-PBF 过程中不稳定凝固现象随成形高度的累积，取向偏转逐渐形成大角晶界，破坏单晶组织，且在 DD432 合金中甚至出现开裂行为。在此基础上，通过多种扫描策略与参数优化，以及熔池形态-取向匹配的调控手段，系统揭示了影响单道外延稳定性的关键因素，并成功显著减少了成形试样中的大角晶界数量。

本研究提出通过调控热流矢量与熔池形态抑制单晶外延过程中杂晶的生成，结合扫描策略与参数优化，以及熔池形态与取向匹配的调控方法，有效保障了外延生长的稳定性，为单晶高温合金的高质量增材修复及未来 L-PBF 单晶高温合金的直接成形提供了重要的理论指导和技术支持。

拟交流类型：口头报告

E07-73

外加金属过渡层在氧化铝铜热压结合中对界面组织演变的影响

刘嘉靖¹、张宇博^{*1,2}、黄俊睿¹、王同敏^{1,2}、李廷举^{1,2}

1.大连理工大学

2.大连理工大学宁波研究院

氧化铝铜作为一种常用的弥散强化型铜合金，其主要通过粉末冶金方法进行制备。受限于制备工艺对样品尺寸的限制，热压结合工艺被认为是制备大尺寸氧化铝铜的理想方法。本研究报道了氧化铝铜热压结

合过程中的组织演变，同时结合外加金属过渡层优化了热压工艺。研究发现：（1）柱状晶的动态再结晶为氧化铝铜热压过程界面愈合的主要机理，但氧化铝颗粒对界面迁移的阻碍作用限制了界面结合质量的提升。（2）界面处添加铜箔作为界面过渡层可以有效改善界面结合质量，在相同结合参数时结合质量优于无界面过渡层时的。（3）通过添加界面过渡层使得氧化铝铜实现了成功结合，与原始样品性能相比界面结合质量基本完全恢复，界面结合强度恢复率和塑形恢复率分别为 98.7%、97.9%。该方法为热压结合工艺提供了一种新的设计思路。

拟交流类型：口头报告

E07-74

电冲击作用下 CuCrZr 基体激光熔覆 (TiC+TC4) 复合涂层导电性能研究

龚佳伟、罗骅阳、华林、谢乐春*

武汉理工大学汽车工程学院

电磁炮依赖高导电轨道材料，通过电流产生磁场推动弹丸加速，而铜合金在导电性能上具有优势。但铜合金轨道接触电阻在高电流和高热环境下随发射次数增加而增大，导致其导电性逐渐下降。本研究采用激光熔覆技术，将 TC4 粉末与 8wt.%TiC 粉末制备成复合粉末，在 CuCrZr 基体表面进行复合材料涂层的制备。在激光功率为 1500 W，扫描速度 150 mm/min，送粉速率 0.35 r/min 时，对比 CuCrZr 基体表面未处理、喷丸处理、冷喷涂处理下界面导电性能的差异。研究结果表明，通过 SEM 图像分析发现，由于 CuCrZr 基体和钛基复合材料的差异性，纯铜界面和喷丸处理界面存在明显裂纹缺陷，而经过冷喷过渡层界面结合较好。经过喷丸处理后，导电率约为 59%IACS；经过冷喷过渡层后，导电率约为 60%IACS。为进一步探究电流对材料导电性能的影响，采用电冲击处理技术对其进行后处理，通过对比不同表面处理方式的材料电导率进行测试与分析，探究不同电流密度下材料导电性能的变化。为不显著降低铜合金导电性能的前提下，对其表面进行强化提供方法参考。

拟交流类型：口头报告

E07-75

微量纳米调控 LDED 高强铝合金多级组织构型机制

刘天舒*¹、谭超林¹、邱丰²

1.苏州大学

2.吉林大学

增材制造 (AM) 高强度 7075 铝合金是具有挑战性的，其可打印性较差。变质剂调控是一种改善 AM 高强铝合金可打印性和提高其力学性能的可行方法。与现有文献中添加非原位陶瓷增强的 AM 加工铝基复合材料不同，本研究采用原位形成的微量 TiC-TiB₂ 纳米颗粒包覆在 Al 粉末原料中，接种 AA7075 的激光定向能沉积 (LDED) AM。利用 $3\text{Ti}+\text{B}_4\text{C}\rightarrow 2\text{TiB}_2+\text{TiC}$ 化学反应，采用中间合金法制备 AA7075 复合粉末，然后进行超声雾化。研究了微量纳米颗粒对合金成形性、凝固行为、固相转变、晶粒再结晶、析出动力学和力学性能的影响。微量纳米颗粒可以显著提高打印性能（具有宽的工艺窗口）并消除热裂纹，达到 99% 以上的相对密度。在凝固过程中，微量纳米颗粒显著细化晶粒，使晶粒更加等轴化，同时减弱偏析，促进动态再结晶。热处理后，颗粒增强的 AA7075 实现了 GP 区、 η' 和 T' 相的共析出，表现出良好的强度-塑性协同效应，抗拉强度达到 480 MPa，延伸率达到 10.5%。本研究解决了增材制造中增强颗粒面临的分散性差、基粒界面差等多重限制。此外，微量纳米颗粒的应用在提高效率和成本效益方面具有显著的优势。研究结果对 AM 铝合金的多级组织调谐和性能增强具有重要的指导意义。

拟交流类型：口头报告

墙报

E07-P01

钇元素合金化对增材制造 GH3536 镍基高温合金蠕变性能的影响

程晓鹏、马宗青*

天津大学

与之前的通过添加低含量的 Y 元素（通常 <0.1 wt.%）以提升蠕变性能的研究相反，在本工作中我们创新性地向 HX 合金中添加高含量的 Y 元素（0.76wt%）并借助 LPBF 技术在亚晶边界处形成纳米级的 Ni₅Y 相。相应地，Y-HX 合金在 Y 合金化后蠕变寿命大幅提升 6 倍（1010 小时 vs 168 小时），最小蠕变速率（ $4.82 \times 10^{-6} \text{h}^{-1}$ vs $2.09 \times 10^{-5} \text{h}^{-1}$ ）显著降低。究其原因，在蠕变变形过程中 Ni₅Y 相促进 Cr₂₃C₆ 形核，在基体内形成链状 Ni₅Y-Cr₂₃C₆- σ 相，有效抑制析出相粗化，减轻 σ 相对基体的脆化作用。此外，Ni₅Y/基体界面上密集的六方位错网络通过交叉滑移促进应力松弛，防止界面开裂。这为具有优异蠕变性能的 3D 打印镍基合金提升蠕变性能提供了一条新的合金设计路线。

E07-P02

ABS 循环熔融沉积成型（FDM）结构与性能演化机理研究

申博帆、亢健*

四川大学高分子研究所

为了阐明 ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯）在循环熔融沉积成型（FDM）过程中的结构-性能演变机理，将 ABS 分别进行了 5 次循环 FDM，并对每一次成型后 ABS 分子结构和性能进行了表征。结果表明，随着 FDM 循环次数的增加，聚丁二烯（PB）相分子链断裂，分子链上出现颜色基团，产生胶状物质，丙烯腈-苯乙烯共聚物（SAN）相分子量降低，ABS 中抗氧化剂和其他添加剂损失严重。循环后的 FDMed ABS 的热降解转变温度、熔体流动速率和力学性能均有所降低。冲击截面形貌结果表明，循环 FDM 后，层间空隙变大，PB 相与 SAN 相界面强度下降。循环后的 FDMed ABS 黄色指数升高。提出了循环 FDM 对 ABS 树脂分子结构和性能的演化机理。

E07-P03

面向精密医疗器械的 3D 打印树脂增强增韧研究

黄征、金东东、马星*

哈尔滨工业大学（深圳）

传统光固化树脂普遍存在刚性高但延展性差的问题，而聚氨酯材料具有优异的力学性能和可调结构。本研究通过分子设计，引入柔性链段与动态氢键结构，构建具有高交联密度且保有延展性的光固化聚氨酯网络；结合树脂配方优化和打印参数调控，提升打印精度与成型质量。本研究旨在开发一种适用于 DLP 光固化 3D 打印的高性能聚氨酯为基体的弹性体树脂材料，以满足柔性器件、小型软体机器人和微结构材料等领域对高延展性、高强度和高精度的综合需求。本研究有望突破现有微纳 3D 打印材料的性能瓶颈，为高性能光固化柔性材料的设计与微结构制造提供新思路。

E07-P04

电弧增材制造 Al-Mg 合金工艺研究及温度场模拟

杨丽媛、陈宗宁*

大连理工大学

Al-Mg 合金作为一种轻量化材料同时兼具耐蚀性高、焊接性良好的特点，主要用于生产轮船甲板、船

底外板等薄壁壳体。传统的生产方式如铸造、锻造等，后续都需要配备铣削等减材手段，增加了工艺的复杂性和材料的浪费。增材制造技术利用计算机辅助(CAD)软件逐层逐步构建三维(3D)部件，与传统的工艺相比，它是一种近净成型工艺，其中电弧增材制造(WAAM)相较于其他增材手段而言，生产成本更低、沉积效率更高，适合大型铝合金构件的生产。本研究旨在探索不同冷金属过渡(CMT)工艺对 Al-Mg 电弧增材产品力学性能和微观组织的影响，并利用有限元仿真技术模拟 WAAM 过程中温度场的变化情况，为后续 Al-Mg 系合金的工业增材制造提供参考。最后得出结论，在 CMT+Advance 工艺下，Al-Mg 合金打印件焊道呈鱼鳞状；微观组织、力学性能更优，平均晶粒尺寸 $21.68 \mu\text{m}$ ，横向抗拉强度 $280.71 \pm 0.99 \text{MPa}$ ，延伸率 $32.82\% \pm 0.35\%$ ，无明显各向异性；其次，有限元模型温度场拟合良好，计算出熔池中心冷却速度大约 1710°C/s 。

E07-P05

熔丝定向能量沉积 Mg-Al 合金的孔隙演化和强塑性协同提升机制

安宇康、郭恩宇*、陈宗宁、康慧君、张至柔、王同敏

大连理工大学

电弧增材制造作为一种经济高效的增材制造技术，已越来越多地应用于金属材料构件的制造。然而，传统工艺制备的 Mg-Al 系镁合金强度较低，难以满足特殊环境下的使用需求。本工作通过调控电弧增材制造过程中的热输入，系统研究了 AZ31B 镁合金的孔隙率、微观组织演化及力学性能的影响。结果表明，热输入的增加显著降低了沉积构件的孔隙率，并细化了晶粒和析出相。因此，该制备的 AZ31B 构件表现出优异的强塑性协同提升效应，综合表现优于大多数现有报道的 Mg-Al 合金。构件强度的提升主要归因于细晶强化和析出相强化的共同作用，而优异的塑性则源于细化的微观组织和致密结构对应力集中的有效缓解。本研究可为制备具有良好成形性和致密结构的高性能 Mg-Al 合金构件提供新思路。

E07-P06

激光粉末床熔融过程中光束形状对熔池稳定性和匙孔孔隙形成的影响

唐旭、蒋小武、施荣沛*

哈尔滨工业大学（深圳）

激光束形状(能量的空间分布)对 LPBF 加工过程中的熔池稳定性及孔隙的形成有着重要影响。本文基于多尺度、多物理场高保真度数值模拟，研究了不同激光束形状(高斯光束、平顶光束、以及椭圆光束)对镍基合金激光熔融过程中熔池形貌、稳定性和匙孔缺陷形成机制的影响。研究发现，纵向椭圆则具有最好的熔池尺寸稳定性与孔隙抗性，并阐明了光束整形对孔隙形成机制的调控作用，为实现镍基合金 LPBF 的缺陷控制提供了理论指导和技术支持。

仅发表论文

E07-PO01

双喷嘴 3D 打印制备的蜂窝夹层复合材料的冲击响应实验研究

刘海博、朱健健*、白文鹏、蒋仕豪、高泽远

中国民用航空飞行学院

Fused Deposition Modeling (FDM) is widely used in advanced composites manufacturing due to its low-cost and high-efficiency production. However, conventional sandwich honeycomb structures have the limitations of interfacial bonding between panels and core layers, making them prone to invisible separation even structural failure under external impact, which reduces their energy absorption effectiveness. To address this issue, this study utilized a dual-nozzle FDM 3D printer to integrally form a sandwich honeycomb structure. The panel layer is fabricated from high-strength carbon fiber-reinforced polymers (CFRP), specifically PA6-CF, PLA-CF, and

ABS-CF, whereas the honeycomb core layer is comprised of lightweight thermoplastic materials, namely PLA and ABS. The study systematically investigated the influence of material combinations on structural performance. By employing low-speed dropping hammer impact tests, the peak load and energy absorption performance of structures with different material combinations are obtained. The results indicate that multi-material printing process-promoted the fabrication efficiency of composite structures and enhancing the impact resistance compared with the traditional counterparts, which provides theoretical and experimental basis for the development of lightweight structures in the aviation community.

E07-PO02

激光粉末床熔化滚筒铺粉的数值模拟研究

吴宇航*

西部金属材料股份有限公司

在激光粉末床熔化 (LPBF) 过程中, 铺粉质量不仅会影响后续工艺的进行, 还会直接影响打印零件的质量和性能。因此, 如何实现具有理想结构和性能的优质粉床是目前研究人员和工程师关注的焦点之一。目前, 针对 LPBF 增材制造中的铺粉过程, 大部分数值模拟研究都集中在刮板铺粉, 而对滚筒铺粉的研究相对较少。已有工作主要针对单一尺寸粉体展开, 这与实际过程中使用的连续尺寸分布的粉体相差较大, 尤其是滚筒铺粉过程中微观粒子尺度的机理尚不十分清楚。因此, 本文采用离散元法 (DEM) 对实际打印过程中具有连续尺寸分布的 316L 不锈钢粉末的滚筒铺粉过程进行了数值再现, 并采用 CFD 法对不同铺粉厚度下获得的粉床激光熔化过程进行了数值模拟。研究系统地探讨了工艺参数对粉末床宏观和微观性能的影响规律, 并将结果与目前普遍使用的刮板铺粉的结果进行了对比, 以探究滚筒作用下的铺粉机理。研究发现: 当滚筒速度 $V=0.04$ m/s, 旋转速度 $\omega=-15$ rad/s 时, 粉床具有高堆积密度和较好的均匀性; 通过对比不同铺粉条件下获得的粉末床宏观及微观性能, 发现滚筒获得的粉末床质量优于当前普遍使用的刮板铺粉; 动力学分析发现, 随着滚筒运动速度 V 的增加, 粉体粒子的运动速度也逐渐增加; 且随着 V 的增加, 粉体与基板间的力链增强, 导致粉体流动性变差, 产生堵塞现象, 进而降低粉床质量。

E07-PO03

新型增材制造技术用于多尺度设计超高分子量聚乙烯宽带吸收器

徐子捷、陈英红*

四川大学高分子研究所

超高分子量聚乙烯 (UHMWPE) 因其高强度、低介电损耗及轻质特性, 是高频微波器件的理想基体, 但其高熔体粘度严重制约其功能化与增材制造。本研究提出一种集成策略: 通过低温等离子球化与固相剪切研磨制备高性能 UHMWPE/OMMT 复合粉末, 其中等离子球化显著改善了粉末流动性, 固相剪切研磨技术实现了纳米填料的高效分散与界面结合, 有助于形成低逾渗阈值的导电网络。结合开发的红外-微波协同烧结增材技术, 突破了高粘度 UHMWPE 的成型瓶颈, 获得了具有优异层间结合的部件。多尺度建模指导设计的三维超材料结构在 2-18GHz 频段内实现 >90% 的宽带微波吸收, 峰值吸收性能优异 (-38.5 dB)。碳纳米管 (CNTs) 形成的导电网络与增强的界面极化效应协同赋予了复合材料关键的电磁响应。该工作为轻量化高频微波器件提供了可定制化制造平台, 在航空航天与无线通信等领域具应用潜力。