研究实现米级钛合金单晶增材制造

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/43459.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！

研究实现米级钛合金单晶增材制造。北京理工大学机械与车辆学院教授刘长猛团队首创微熔池非稳态脉动生长的单晶增材制造新方法，打破传统依赖准稳态凝固的单晶生长模式，首次实现米级钛合金单晶增材制造，开拓增材制造发展新赛道，相关研究成果近日发表于《自然》。

据悉，单晶材料是航空发动机与燃气轮机、先进核能装置、半导体等领域战略性基础材料。传统单晶制备主要依赖籽晶、模具和定向凝固，难以兼顾大尺寸、复杂构型、多材料适用性和低成本制造。单晶增材制造以微熔池为基本晶体生长单元，通过逐点熔化和定向凝固，突破了传统单晶尺寸受限、形状受限、材料范围窄、成本高的瓶颈，实现米级、复杂构型、跨材料体系、低成本单晶制造。

增材制造快速变化的温度梯度、高冷却速率和反复热循环等热条件，偏离经典单晶凝固理论通常采用的准稳态热场假设，使杂晶控制、晶体取向的稳定保持成为核心挑战。对此，研究团队提出深蹲脉冲热输入增材制造新方法，通过强弱交替的热输入调控熔池演化，在强非平衡条件下建立单晶生长的动态稳定性。该方法无需预制单晶籽晶，可从多晶基板直接生长出高度达米级、直径达厘米级的单晶，展示了剧烈交变热条件下实现长程取向保持的可行性，拓展了单晶稳定生长的理论边界。

研究团队耦合单晶凝固与悬空熔池力学稳定性，建立力-
凝固耦合理论模型及可打印相图，确定兼顾外延生长与结构稳定的工艺策略。

这一方法首次实现了无需模具、无需额外支撑的复杂单晶结构制造，包括由曲折单晶杆件组成的点阵。单晶由此从受模具约束的实体构件，拓展为几何构型可设计的空间结构，为材料性能与结构功能的一体化设计提供了新可能。

以航空航天常用的Ti-6Al-4V 钛合金为模型材料，研究团队展示了增材制造单晶极致性能。制备钛合金单晶的抗蠕变性能较锻件及增材制造多晶有量级式的提升，且改善幅度显著超出常规晶粒尺寸标度律的预测。

多层级组织表征与晶体塑性建模揭示，晶界消除与内部 α / β 相组织协同作用，改变了位错运动和孔洞形成动力学。研究发现，即使在位错主导的蠕变条件下，晶界仍对宏观性能具有重要影响，为优化单晶合金的高温服役能力提供了新的机制认知。

该方法具有很强的普适性，研究团队还成功制造了钨、钼、铌及钼铌合金单晶，展示了该方法对多种难加工难熔金属的适用性，为深空核动力等领域所需单晶构件的研制提供了制造基础。

该技术基于丝材电弧制造平台，减少了对专用模具和复杂精密控温装备的依赖；相较粉末增材制造，丝材原料也具有成本优势，为扩大制造规模、降低单晶应用门槛提供了条件。审稿人将这项工作评价为工业制造领域的重要里程碑。（来源：中国科学报赵宇彤）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41586-026-11185-0

作者：刘长猛等 来源：《自然》

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