美国研发核心系统，聚变能源、极端环境材料有望实现便捷制造

来源：美国 Interesting Engineering 网站 ｜ 发布时间：2026 年 9 月 2 日 ｜ 关键词：美国、核心系统、聚变、材料

摘要：这套新系统填补了美国在高温合金粉末材料供应能力上的关键空白。

原文链接： https://interestingengineering.com/energy/materials-for-fusion-energy-extreme-environment

美国研究人员正在开发一套全新的难熔金属粉末雾化系统，将助力科研人员研发适用于燃气轮机、聚变能源系统等极端环境场景的新材料。

埃姆斯实验室科学家乔丹·蒂亚克斯表示：“埃姆斯实验室在制造其他机构根本无法生产的特种粉末方面拥有悠久历史。这套新系统正是在这一基础上搭建的，但它将我们带入了一个此前基本难以触及的全新温度区间和材料领域。”

金属粉末是复杂构件精密制造的核心基础

研究团队同时指出，金属粉末对美国工业至关重要，它能支撑复杂构件和特种合金的精密制造，而这类产品用传统方法很难甚至完全无法制备。这套新系统填补了美国在高温合金粉末材料供应能力上的关键空白。

根据一份新闻通稿介绍，该新系统可在最高 3400 摄氏度的条件下处理材料，生产速率可达每分钟 1 千克。这些性能让研究人员能够产出足量粉末，支撑极端环境新型材料的研发、测试与规模化落地，进而推动这类材料在美国工业体系中的快速应用。

燃气轮机目前采用镍基或钴基高温合金制造

报道同时披露，当前陆用和航空航天燃气轮机均采用镍基或钴基高温合金制造，为了在实现最优效率所需的极端高温环境下运行，这类设备必须配备复杂的冷却系统和昂贵的热障涂层。为了提升性能、降低冷却需求，研究人员正在寻找可耐受极端温度条件的新型合金。

蒂亚克斯说：“此前团队在纸面上有很多不错的创意，但光是获取测试所需的粉末就要等上一年以上。美国高级研究计划局（ARPA-E）意识到，当时缺失的不只是新型合金，更缺少能生产足量这类合金高品质粉末、支撑研发工作的专用设备。埃姆斯

实验室是搭建这项能力的天然选择，因为我们数十年来一直在高水平开展粉末冶金相关研究。”

研究团队同时指出，埃姆斯实验室的这套新系统采用转移电弧等离子体工艺，突破了此前的限制。该系统无需使用特制电极，而是利用高能等离子体在雾化前对原料进行局部熔化。只要材料成分均匀，该工艺的原料可以是棒材、块材等任意物理形态。

熔化过程在水冷铜坩埚内完成，这会让熔融材料的外层接触铜壁后快速凝固，形成一层薄薄的固态保护层。这层被称为“凝壳”的结构，相当于在超高温熔融材料和冷却铜壁之间充当了内衬。

该工艺的另一个重要特点是，任意时刻只有小体积的材料处于熔融状态。

蒂亚克斯解释道：“局部熔化给我们带来了两大优势：首先是安全性更高——即便出现故障，你也不需要去处理一整罐 3400 摄氏度的熔融金属；其次是材料处于高温环境的时间更短，这有助于我们维持材料纯度、控制反应活性。”

这套难熔金属雾化器是埃姆斯实验室现有雾化器体系的补充，它专为需要更高处理温度的材料设计，拓展了实验室利用难熔金属和合金生产粉末的能力。对于可在更低温度下处理的常规合金，埃姆斯实验室现有的感应式和紧耦合式雾化器仍是更高效的选择。根据新闻通稿，这些传统系统在最优粒径区间的成品率可达 50%-60%，而这套难熔金属雾化器针对高温合金的典型成品率为 10%-20%。