

钛合金助力航空海工装备新发展 ——先进钛合金结构材料分论坛侧记

文 / 中国科学院大学 张应鹏 祁宇星

钛合金具有比强度高、密度小、耐腐蚀等一系列优异特性，是一种理想的结构材料，在航空、航天、舰船等领域应用日益广泛。先进钛合金结构材料的研究与应用水平在很大程度上决定了军民飞机、发动机、载人潜水器等高科技装备的发展水平。高温钛合金结构材料、高强韧钛合金及复合材料、先进钛合金设计方法、先进钛合金材料加工方法等是本领域的研究重点。2021年10月18日，“2021新材料国际发展趋势高层论坛——先进钛合金结构材料分论坛”在宁波成功召开，本次分论坛由西北有色金属研究院、南京工业大学、北京理工大学、中国船舶集团有限公司第七二五研究所和《中国材料进展》杂志社联合承办，由赵永庆教授、程兴旺教授、常辉教授担任分论坛秘书长。来自钛合金研制、生产、应用领域的15家单位的16位专家学者介绍了我国先进钛合金结构材料领域的发展前沿及重大成果，与会专家和代表们针对钛合金的发展前景与应用挑战进行了深入交流。论坛加强了国内相关高校、科研单位和企业之间的合作交流，促进了国内钛合金材料“产学研”的深度融合。



高性能钛合金设计及产业化应用



赵永庆 教授

西部金属材料股份有限公司葛鹏教授 带领团队针对传统钛合金锻坯生产成材率低、生产效率低、工序成本高、产品竞争力不足的问题，基于系统的大规格坯料锻造过程组织演化分析，开发出适于产业化生产的钛合金大规格高性能锻坯的高效制备技术。



葛鹏 教授

西部超导材料科技股份有限公司王凯旋教授

介绍了团队运用钛锻件全流程制造工艺模拟仿真及自动感知采集和SPC在线分析手段，实现了基于大数据技术的钛合金材料工程化制备的质量预测及控制，成功制备出8吨级铸锭、 ϕ 400 mm棒材和5吨级大规格锻坯，实现了高性能钛合金在航空航天等领域的低成本应用。



王凯旋 教授

钛合金强韧化机制探讨

哈尔滨工业大学耿林教授 介绍了采用粉末冶金结合原位反应自生技术研制的准连续网状结构钛基复合材料，增强相准连续网状结构分布，可以有效提高“晶界”室温强化效果、抑制“晶界”高温弱化效果，并有效抑制“晶粒长大”，提高整体协调变形能力。进一步在相界处引入纳米增强相制备的两级网状结构钛基复合材料表现出更高的综合性能，蠕变持久断裂时间较钛合金提高约57倍。

西安交通大学孙巧艳教授 探讨了Ti2448合金单晶微尺度柱状试样在压缩过程中的力学行为，随着试样直径尺寸减小，位错雪崩式滑移在很大程度上被抑制；通过原位透射电镜观察到，压缩过程中合金发生了可逆的相变，相变产物为纳米尺度的马氏体。

西北工业大学寇宏超教授 介绍了高强韧亚稳 β 钛合金中基体TRIP/TWIP效应、析出相阻碍位错运动等变形机理，探讨了合金成分与变形机理、强塑性之间的关联，提出了基于亚稳 β 钛合金中 α 析出相和 β 基体固有特性及其与强度、韧性的关联，探讨多组元亚稳 β 钛合金强韧化途径的研究思路。

北京航空航天大学肖文龙副教授 表示，大量研究结果说明，高强亚稳 β 钛合金在淬火和时效热处理过程中，亚稳相的形成对其组织及性能会产生直接和间接的影响，介绍了团队对自主研制的Ti-6554和Ti-5321合金的亚稳相变过程及其对时效态组织性能影响的研究工作。

新型高性能钛合金设计方法

大连交通大学董闯教授 通过引入一种“团簇加连接原子”模型，解释了Ti6Al4V合金成分，并由此揭示了Ti-Al-V体系合金的成分根源。通过定义 α 相和 β 相的团簇式结构单元，分别解释了高温近 α 钛合金和高强韧 β 钛合金的成分，为钛合金的成分优化和新合金研发提供理论指导。

大连理工大学王清教授 指出，针对不同工况使用的钛合金设计，需要多个溶质元素共同合金化，且合金化元素之间要达到最佳含量匹配。她采用团簇式成分设计方法来考虑这一问题，并获得系列性能优异的多元成分复杂合金；并将团簇式嵌入到多尺度机器学习模型中，用于提高机器学习合金成分-性能关联的预测精度。

先进金属增材制造技术及应用

北京航空航天大学朱言言副研究员 介绍了金属增材制造技术的发展和增材制造钛合金构件的应用现状，分析了激光增材制造钛合金的组织及力学性能特征，针对增材制造高性能钛合金材料的未来发展提出了可能的研究重点和方向。

中国航空制造技术研究院陈玮研究员 表示，增材制造逐层累加的制造方式产生垂直方向的温度梯度，进而造成了钛合金显微组织与力学性能的各向异性。以增材制造Ti-6Al-4V合金以及TiAl金属间化合物为例，分析了其各向异性及产生原因，并介绍了改善增材制造钛合金各向异性的典型方法。

北京科技大学梁永锋教授 介绍了目前国内外电子束增材制造TiAl合金的主要进展，重点介绍了增材制造过程中TiAl合金的组织退化，以及增材制造TiAl合金复合材料方面的探索。

上海交通大学王立强研究员 介绍了国内外生物医用钛合金研究进展和发展方向，针对目前临床存在的问题，提出了新型医用钛合金的设计手段和表面改性技术，探讨了其临床应用和发展前景。

先进钛合金材料的需求及应用

中国航发商用航空发动机有限责任公司雷力明研究员 介绍了国内外民用航空发动机钛合金的应用现状，分析了国内外钛合金原材料的差距，介绍了国产大型客机发动机项目对未来钛合金降本等方面的需求。

中国船舶集团有限公司第七二五研究所吕逸帆高工 介绍了载人潜水器钛合金载人舱的焊接技术，重点分析对比了窄间隙焊接技术和电子束焊接技术在潜水器钛合金载人舱上的应用研究。

中国科学院金属研究所马英杰研究员 介绍了钛合金热处理中的元素再分配效应，及通过微区元素浓度调控精确设计钛合金力学性能，以及多层次复合型结构优化钛合金强韧性的机理。

