

高温金属结构材料：为时代的航机插上腾飞的翅膀

——高温金属结构材料分论坛侧记

文 / 西安交通大学 王兆伟 梁梦妍 任沛然 陈凯 / 北京航空航天大学 茹毅

高温金属结构材料能够在高温环境服役，并承受苛刻的机械应力。其具有良好的抗氧化和抗热腐蚀性能、优异的蠕变与疲劳抗力，因而被广泛应用于航空航天、能源动力、石油化工、核工业等国民经济和国防领域。尤其是在先进航空发动机研制中，高温金属结构材料用量已占到发动机总量的 40%~60%。因此，高温金属结构材料性能成为决定先进航空发动机服役性能的关键因素。

2020 年 11 月 1 日，“2020 新材料国际发展趋势高层论坛——高温金属结构材料分论坛”于西安国际会议中心顺利举行，本次分论坛由李依依院士、徐惠彬院士担任分论坛主席，宫声凯院士、刘林教授和张健研究员担任分论坛秘书长。分论坛邀请了张继教授、邹金文研究员、张健研究员、冯强教授、孙宝德教授、谷月峰研究员、苏海军教授等 14 位国内高温金属结构材料研究领域的知名专家作精彩报告，各位专家针对单晶高温合金的成分设计、微观结构动态演化机制以及服役性能改善等问题进行了广泛而深入的讨论。论坛报告内容精彩纷呈，学术氛围热烈浓厚，受到了参会者的一致好评。

【企业精英：集成应用创新的开拓者】



谷月峰 研究员

华能集团西安热工研究院谷

月峰研究员 介绍了先进火电机组的高温材料基础及其自主化进程，指出了服役温度在 700℃ 以上的火电机组用高温合金材料的自主研发仍有很长一段路要走。

西部超导材料科技股份有限公司付

宝全教授 介绍了西部超导材料科技股份有限公司在高温合金三联冶炼工艺研发的最新进展，指出通过该工艺制备的高温合金棒材的冶金质量已经达到国外同类产品的水平，为我国推广和应用高温合金三联冶炼工艺打下了良好的基础。



付宝全 教授

【科研院所：多方协同创新的引领者】



张继教授

钢铁研究总院张继教授 以“高温合金的科研与生产技术”为主题，针对如何推进高温合金体系“产、学、研、用”一体化进程表达了自身看法。他犀利地提出“跑到前面去的不一定是领跑者，也有可能是方向跑错了”的观点。

对于为什么会出现科研与生产“两层皮”的问题，张教授认为如果科研不到位，对工艺改进措施的贡献率不够，生产就只能不断加强优化。

钢铁研究总院毕中南教授 分享了其团队在高温合金涡轮盘锻件残余应力控制方面的研究成果，利用中子衍射等实验手段深入研究残余应力对材料相析出行为的影响机制，并针对性地提出了控制锻件残余应力的工艺举措。

中国科学院金属研究所王栋研究员 对不同 Ta 含量的单晶高温合金的热腐蚀和长时蠕变行为进行了系统的研究，结果表明，Ta 含量的增加明显延缓了合金中温蠕变 γ' 相内堆垛层错和反相畴界的产生。

北京航空材料研究院邹金文

研究员 研究了夹杂物在 FHG96 合金不同工艺状态下的演变规律，以及夹杂物特性对该合金低周疲劳寿命的影响，建立了含夹杂物合金的低周疲劳寿命预测模型，为保障涡轮盘使用的安全可靠奠定了基础。



邹金文 研究员

中国科学院金属研究所张健

研究员 介绍了高温合金定向凝固技术，其中关于大工件定向凝固过程中的散热问题引起了在场参会人员的兴趣，张研究员指出：应该严格把控大工件在凝固过程中的横向温度梯度。



张健 研究员

【高校师生：基础创新研究的驱动者】



苏海军教授

西北工业大学苏海军教授 探讨了交变及稳恒磁场对单晶高温合金凝固组织的影响，指出通过外加磁场控制高温合金定向凝固过程，可在不改变材料成分和工艺的前提下优化镍基高温合金的组织性能。

北京航空航天大学茹毅团队 介绍了高 r' 相单晶高温合金中“拓扑反转”行为对材料超高温持久性能的影响，并指出通过调控合金成分可设计出在热处理态具有“拓扑反转”组织的高温合金，实现材料超高温性能的提升。

浙江大学赵新宝研究员 从高代次镍基单晶高温合金的设计与微观结构动态演化规律出发，剖析了单晶镍基高温合金研究领域的基本科学问题，提出了“合金结构设计基础-合金制备和过程调控技术-高性能单晶合金强化技术”的一体化研究方案。

西北工业大学杨文超副教授 针对单晶高温合金两相界面元素分配行为开展了研究，发现 Ru 含量的变化能改变 r/r' 两相界面错配度与元素分布行为。



孙宝德教授

上海交通大学孙宝德教授 分析了大型复杂薄壁镍基高温合金铸件精密成型基础与前沿趋势，提出了传统铸造未来的发展方向必定要与大数据分析、软件流联系起来，形成学科交叉发展，向智能铸造的道路前进。



冯强教授

北京科技大学冯强教授 介绍了超温对铸造高温合金 K465 循环变温蠕变行为的影响，并对比了该高温合金与定向晶高温合金、单晶高温合金的异同。

长安大学艾诚副教授 基于 d 电子理论，设计了一种低密度、低偏析且蠕变性能优异的高 Mo 强化二代镍基单晶高温合金，为合金成分设计提供了新思路。



艾诚副教授

【结语】

伴随着第四次工业革命的到来，新材料产业的发展充满了机遇，也面临着各种挑战。在学科交叉、协同发展的当下，任何领域都不能独善其身。党的十九大报告新界定的应用基础研究，作为沟通各研究领域不同创新类别的中间环节，正在成为产学研协同创新的“蓝海”。作为国家战略发展中的重要一环，高温金属结构材料产业的发展也应做到与时俱进，在不断驱动基础研究原始创新积累的同时，实现应用研究的集成创新与消化再吸收。在高温金属结构材料发展的新时期，积极推进“产、学、研、用”一体化创新进程，推动企业、高校及科研院所共同开展科技创新、共享合作成果，将成为持续推动高温金属结构材料行业发展的关键。