

# 研制基体材料防护“新衣”，打造关键部件可靠“屏障”

## ——先进防护涂层材料与制备分论坛侧记

文/ 北京航空航天大学 刘冬瑞 何健



涂层可以赋予部件表面不同于基体材料的功能特性，为基体材料提供耐温、耐蚀、耐磨或隐身等特种功能，从而保障部件在各种复杂环境中的长时、可靠服役，涂层已经在航空、航天、船舶、核电、交通等领域发挥了重要的作用。近年来，面向国家重大需求，我国在防护涂层材料与界面设计、表征方法以及先进制造技术方面取得了重要进展。

2019年9月26日，在江城武汉“2019新材料国际发展趋势高层论坛(IFAM2019)”举行之际，北京航空航天大学、武汉理工大学、东北大学、武汉材料保

护研究所、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、广东省新材料研究所、西北有色金属研究院以及《中国材料进展》杂志社专门组织并承办了“先进防护涂层材料与制备分论坛”。分论坛围绕我国在涂层领域的前沿进展、发展趋势、存在问题及相关对策等展开研讨，邀请了国内14位知名专家就先进防护涂层的创新设计、制备技术、组织调控与服役演变等热点问题作了精彩报告。来自国内高校、科研院所、航发集团等单位的近百位专家学者、研究人员和青年学生参加了本次分论坛。与会人员就热障涂层、阻燃涂层、铝化物涂层、非晶涂层和耐高温硅树脂等多种涂层材料的关键科学技术问题进行了激烈的交流和讨论，促进了各研究单位的沟通与合作，激励了青年研究人员积极投入先进防护涂层的研究。值此建国70周年之际，先进防护涂层材料的研究者们借一场学术盛会庆祝祖国母亲的伟大生日，为祖国早日实现“中国梦”的目标做出材料人自己的贡献！

**北京航空航天大学官声凯教授致开幕词** 欢迎大家来到江城武汉参加本次会议！这里有老面孔，也有很多新面孔，希望通过这次会议大家能和老朋友重聚，也认识一些新朋友，一起为防护涂层的发展努力！



### 精彩报告

**北京科技大学乔利杰教授** 针对涂层对金属基体力学性能的劣化作用尤其是降低基体疲劳寿命的问题，研究了膜致基体开裂的机理，认为涂层与涂层的开裂两者协同抑制了金属近表面的局部塑性变形，诱导了韧性基体中解理裂纹的萌生与扩展，导致基体开裂。据此提出了通过添加过渡层等方式降低裂纹在涂层中的扩展速度，缓解膜致基体开裂现象，解决涂层降低基体疲劳寿命问题的方法。

**西安交通大学李长久教授** 就多组元陶瓷材料等离子喷涂中的成分演变规律进行了讲述，介绍了La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub>、Gd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>等陶瓷材料在喷涂过程中的颗粒尺寸效应，提出有效抑制优先蒸发、获得成分均匀涂层的基本策略是使用不发生涡旋对流传质的较大尺寸粉末。

**北京矿冶研究总院于月光研究员** 介绍了航空发动机“钛火”问题的产生原因和解决措施，提出了“隔”、“阻”、“导”、“滑”的复合阻燃涂层设计理念，据此设计并成功制备了“NiCrAl抗氧化粘结层+YSZ陶瓷隔热层+Ni基/BN可磨耗封严层”的三层结构复合阻燃涂层，可满足400~750℃下的使用需求。



**武汉理工大学曹学强教授** 介绍了等离子喷涂对稀土铝酸盐晶体结构的影响，稀土铝酸盐涂层在烧结和热处理过程中会发生晶化，长出片状晶，释放应力，因此热导率低、抗热震好。曹教授团队围绕稀土铝酸盐的稀土改性、涂层无定形相的调控、抗热震性能和失效机理等进行了细致的研究。

**中国科学院宁波材料技术与工程研究所王立平研究员** 阐述了了适应苛刻环境强化防护涂层体系的创新设计和应用。团队针对极端情况下材料的学-电-热耦合的强耦合损伤问题，开发了湿热环境适应性MoS<sub>2</sub>强化薄膜、高硬度TiSiN/Ag(Cu)薄膜等，提出多元复合协同以及精细结构的调控是发展高性能超高硬度功能薄膜的共性基础。亟待开展应用中的多因素耦合失效行为与寿命预测评估。

**广东省新材料研究所张小峰高工** 代表刘敏教授，介绍了团队在等离子物理气相沉积(PS-PVD)热障/环境障涂层方面的研究进展。利用热焓探针和原子发射光谱研究PS-PVD等离子射流的特性，提出了YSZ热障涂层的沉积机理，探索了其相应的工程化应用。同时对PS-PVD环境障涂层、固体氧化物燃料电池和透氧膜进行了探索性研究。

**北京航空航天大学郭洪波教授** 团队以高温金属防护涂层与单晶基体的互扩散问题和由此引发的单晶基体力学性能下降问题为出发点，设计研制了Pt/Re、Pt/Ru等多种适用于单晶表面的阻扩散涂层，结合模拟计算提出了Pt/Re、Pt/Ru阻扩散机制，该类涂层有望在1200℃超高温条件下获得应用。

**哈尔滨工业大学姜波教授** 从耐高温杂化树脂制备方法、树脂的光固化方法、超支化硅树脂的合成、聚合体系引发机制及引发效率、纤维增强树脂基复合材料制备技术等方面详细介绍了自己团队在耐高温树脂涂层领域的研究工作。

**武汉材料保护研究所吴勇研究员** 介绍了空心叶片内孔CVD法制备铝化物涂层技术，包括硅改性、钇改性铝化物涂层的制备及其抗高温氧化、抗热腐蚀性以及铝化物涂层对空心叶片力学性能的影响。此外，介绍了其自主研发的CVD系统装备，利用该装备可以在空心叶片内孔制备连续、均匀的铝化物涂层。

**西北有色金属研究院李争显研究员** 介绍了团队近年来在钛合金表面技术方面的研究进展。团队对钛合金采用表面加工、表面装饰、添加涂层、电活性处理、无氢渗碳等不同的处理方式，有效提升了钛合金耐蚀、耐磨、阻燃等能力，使钛及钛合金满足不同服役环境的应用需求。

**华中科技大学柳林教授** 指出，非晶合金由于强度高、耐腐蚀、易成型，作为海洋耐蚀涂层具有很大潜力。全面介绍了团队在非晶涂层方面的研究，包括非晶涂层的制备、空气和深海中的耐蚀性能、抗冲击性能、冲刷耐磨性能、疏水性能、抗辐照特性等。非晶涂层有望在海洋工程领域获得广泛应用。

**东北大学陈明辉教授** 详细介绍了王福会教授团队数十年来在纳米晶涂层方面的研究工作。纳米晶涂层大幅度提高了高温合金的抗氧化性能，同时避免了涂层与合金基体的界面元素互扩散，其纳米结构的高温长时稳定性可以通过晶界调控实现，因此有望成为高温防护涂层发展的新方向。

**上海交通大学赵晓峰教授** 介绍了高性能热障涂层粘附层结构材料的设计，包括Y均匀分布的MCrAlY涂层的设计与实现以及高熵抗氧化粘附层材料的设计两方面研究工作，为新型热障涂层粘附层的研制提供了新的思路。

**中国航发沈阳黎明发动机有限责任公司王璐研究员** 从工程应用一线角度介绍了航空发动机各零部件对功能涂层技术的需求。对国内航空发动机涂层技术在工程化应用中存在的问题进行了分析，提出了可磨耗封严涂层、高温防护涂层和隐身涂层等几大类涂层的重点研究方向。

