

MCST

2025
Conference

2025材料涂层科学 与技术研讨会 (MCST' 2025)

2025年11月21日-23日|中国·武汉



2025 材料涂层科学与技术研讨会 (MCST'2025)

2025 年 11 月 21 日-23 日|中国·武汉



Coatings (ISSN 2079-6412) 创刊于 2011 年，致力于为学者提供快速、高效、高质量的出版服务，帮助广大科研工作者发表涂层、薄/厚膜、表面及界面相关的研究成果，为涂层材料、表面工程领域学者提供开放的学术交流平台。期刊 2024 年影响因子(Impact Factor)为 2.8，CiteScore 为 5.4，目前已被 Scopus、ProQuest、SCIE (Web of Science)、Ei Compendex 等数据库收录。据 2025 上半年期刊统计数据显示，文章从投稿到一审决定返回作者平均时长为 14.7 天，从接收到线上发表仅需 2.4 天。

期刊主编



Prof. Dr. Wei Pan
中国清华大学



Dr. Emerson Coy
波兰波兹南亚当·米奇维奇大学

期刊接收原创型研究论文、综述、社论、简报等类型的文章，涵盖（但不仅限于）以下主题：

- 薄膜和厚膜
- 表征技术
- 染料、颜料及其中间体
- 高温涂层
- 应用表面科学
- 表面和界面的基本和功能特性
- 高表面积系统：胶体、纳米颗粒、大界面
- 涂层沉积和改性工艺
- 功能性、保护性和装饰性涂层
- 腐蚀、磨损与侵蚀
- 包装用薄膜材料
- 吸附、粘附功能化
- 表面和界面的理论和计算建模

目录

组织单位 3

大会简介 4

组织机构 5

总体安排 6

会议详细日程 8

海报展示 16

Session 1. 文物保护涂层 17

Session 2. 喷涂技术 21

Session 3. 沉积技术与应用 35

Session 4. 新能源涂层..... 48

Session 5. 生物与生医涂层 59

Session 6. 光功能涂层..... 67

Session 7. 表面防护涂层 74

组织单位

主办单位	MDPI	
	Coatings	
承办单位	中国硅酸盐学会特种陶瓷分会	
协办单位	华中科技大学材料成形与模具技术全国重点实验室	
赞助单位	兰州中科凯华科技开发有限公司	
	北京共赢联盟国际科技有限公司	
	罗姆(江苏)仪器有限公司	
	安徽外延科技有限公司	
	苏州纳印光电科技有限公司	
	天津中环电炉股份有限公司	
	上海晨华科技股份有限公司	
	上海多木实业有限公司	
支持媒体	中涂网	中国粉体网
	买化塑	热喷涂材料与工艺
	气凝前沿	金刚圈
	粉体匠人	合金与摩擦学
	材料研究那些事儿	高分子力化学前沿

大会简介



为加强涂层科学与技术领域专家学者的科技交流，促进涂层技术应用、推动经济高质量发展，MDPI 国际期刊 *Coatings* 联合中国硅酸盐学会特种陶瓷分会将于 2025 年 11 月 21-23 日在武汉市举办“2025 材料涂层科学与技术研讨会”。

本次会议设置了 7 个专题，涵盖了涂层表面的应用相关领域。邀请了知名专家学者做大会报告及邀请报告。会议组委会热忱欢迎涂层技术领域的科研与开发工作的专家、学者、工程技术人员及研究生出席本届盛会。

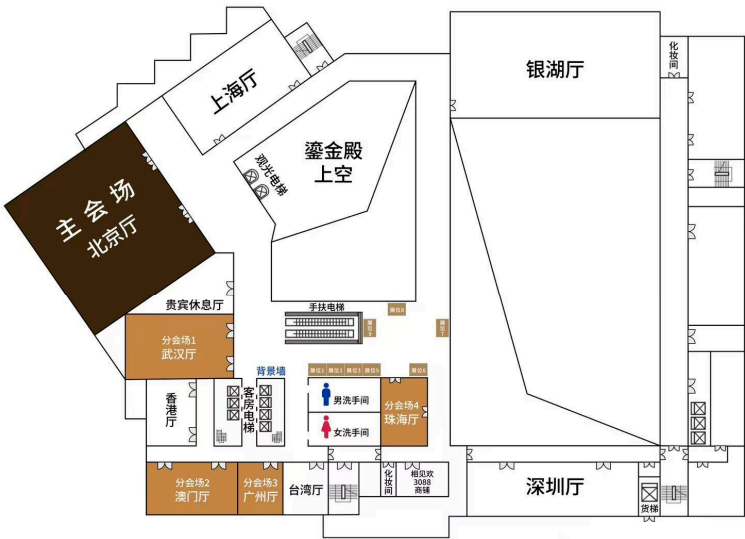
组织机构

大会主席	潘伟	清华大学
	赵晓峰	上海交通大学
	杨冠军	西安交通大学
	涂溶	武汉理工大学
	张诚	华中科技大学
组委会	曹华堂	陈万平
	樊恒中	高兆和
	郭鹏飞	黄海涛
	黄洪涛	黄文质
	胡瑜兰	蒋军
	李和平	李建中
	林华泰	刘建喜
	刘宣勇	乐恢榕
	罗丽荣	陆杰
	欧阳俊	邵涛
	宋玉军	孙立东
	涂溶	王亮
	王立强	徐杰汉
	杨冠军	张俊彦
	张茂	赵晓峰
秘书处	张如范	
	赵园格	李丽
	李倩	赵博文
	程欣媛	

总体安排

时间		内容	地点
11月21日	14:00-18:00	会议注册	武汉欧亚国际酒店一楼大堂注册台
11月22日	8:30-8:40	开幕式	武汉欧亚国际酒店三楼北京厅
	8:40-12:00	大会报告	
	12:00-13:00	自助午餐	武汉欧亚国际酒店一楼鎏金殿
	13:00-18:00	分会 1：表面防护涂层	武汉欧亚国际酒店三楼武汉厅
	13:00-18:00	分会 2：喷涂技术	武汉欧亚国际酒店三楼珠海厅
	13:00-18:00	分会 3：生物与生医涂层	武汉欧亚国际酒店三楼澳门厅
	13:00-18:00	分会 4：沉积技术与应用	武汉欧亚国际酒店三楼广州厅
	18:00-20:00	晚宴	武汉欧亚国际酒店三楼北京厅
11月23日	8:30-12:30	分会 5：光功能涂层	武汉欧亚国际酒店三楼武汉厅
	8:30-12:30	分会 6：新能源涂层	武汉欧亚国际酒店三楼珠海厅
	8:30-12:30	分会 7：文物保护涂层	武汉欧亚国际酒店三楼澳门厅
	返程		

特别提示 大会主会场在武汉欧亚国际酒店三楼北京厅
分会场在武汉欧亚国际酒店三楼武汉厅，珠海厅，澳门厅和广州厅



三 楼 公 区 图

会议联系人

赵园格	18511698725
李丽	15910702503
程欣媛	18086603623
赵博文	18203997470

会议期间天气情况

11/21 周五	晴朗	10~18 度
11/22 周六	晴朗	10~18 度
11/23 周日	多云转晴朗	10~20 度

住宿酒店及交通指南

	• 会议住宿 武汉欧亚会展国际酒店：418 元/晚大床房，438 元/晚双床房 地址：中国湖北省武汉市东西湖区金银湖路 20 号
	• 武汉天河国际机场 出租车约 25-30 分钟，60-80 元人民币； 乘坐地铁 2 号线佛祖岭方向—常青花园站—换乘地铁 6 号线新城十一路方向—金银湖站（C 口）出站—步行 230 米到达 • 汉口站 出租车约 20 分钟，40-50 元人民币。 乘坐地铁 2 号线天河机场方向—常青花园站—换乘地铁 6 号线新城十一路方向—金银湖站（C 口）出站—步行 230 米到达 • 武汉站 出租车约 46 分钟，65-75 元 乘坐地铁 4 号线柏林方向—洪山广场站—换乘地铁 2 号线天河机场方向—江汉路站—换乘地铁 6 号线新城十一路方向—金银湖站（C 口）出站--步行 230 米到达 • 武昌站 出租车约 42 分钟，50-60 元人民币 乘坐地铁 4 号线柏林方向—钟家村站—换乘地铁 6 号线新城十一路方向—金银湖站（C 口）出站--步行 230 米到达

会议详细日程

会议日程		
Day 1 下午-2025 年 11 月 21 日，周五		
14:00-18:00	现场注册报道	
Day 2 上午-2025 年 11 月 22 日，周六		
主会场：北京厅		
时间	主持人	会议日程
08:30-08:40	潘伟 清华大学	开幕式
大会报告		
主持人：张诚		
08:40-09:10	徐大可 东北大学	大会报告：海洋用金属材料的微生物腐蚀与防治
09:10-09:40	张如范 清华大学	大会报告：高性能光热调控材料
09:40-10:10	所新坤 宁波大学	大会报告：Development of Thermal Spray in Alkaline Water Electrolysis Electrodes
10:10-10:30	合照留念 & 茶歇	
主持人：涂溶		
10:30-11:00	梁春永 河北工业大学	大会报告：金属医疗器械微纳功能化表面构建研究
11:00-11:30	赵晓峰 上海交通大学	大会报告：氢混燃料燃机热障涂层材料设计及性能研究
11:30-12:00	郭胜锋 西南大学	大会报告：极端环境服役金属材料涂层技术
12:00-13:00	午餐 地点：鎏金殿	

分会 1：表面防护涂层		
Day 2 下午-2025 年 11 月 22 日，周六		
分会场：武汉厅		
主持人：樊恒中		
13:00-13:20	孙立东 重庆大学	邀请报告：多孔金属内部微通道表面超亲水涂层调控与应用
13:20-13:40	黄文质 国防科技大学	邀请报告：YSZ 涂层抗 CMAS 腐蚀性能优化手段
13:40-14:00	高凯雄 中科院兰州化物所	邀请报告：航天装备超低摩擦薄膜技术与应用
14:00-14:20	刘建喜 西北工业大学	邀请报告：纳米材料功能化的环氧树脂基防腐耐磨多功能涂层
主持人：孙立东		
14:20-14:40	陈浩 宁波诺丁汉大学	邀请报告：激光表面重熔制备粗晶化表面层的微观结构和抗氧化性能研究
14:40-15:00	王衍飞 国防科技大学	邀请报告：基于稀土焦硅酸盐的仿生抗开裂的先进环境障涂层技术
15:00-15:20	樊恒中 中科院兰州化物所	邀请报告：极端环境陶瓷润滑材料与评价技术
15:20-15:50	茶歇 & 墙报展	
主持人：刘建喜		
15:50-16:10	刘钰博 中科院兰州化物所	邀请报告：高效光热防除冰涂层材料
16:10-16:30	鞠洪博 江苏科技大学	邀请报告：宽温域自润滑涂层设计及协同润滑行为规律
16:30-16:50	宋鹏 昆明理工大学	邀请报告：孔隙对超厚热障涂层力学-隔热性能的影响及协同优化研究
16:50-17:10	王军军 重庆理工大学	邀请报告：典型高熵合金涂层的表界面特性及调控
17:10-17:30	陈平虎 南华大学	邀请报告：新型 β -TiAlCrMn 钛合金制备与组织性能研究
17:30-17:50	庞立龙 中国科学院近代物理研究所	邀请报告：TiAlN、Al2O3/Fe-Al 涂层的耐 LBE 腐蚀性性能研究
18:00-20:00	晚宴 地点：北京厅	

分会 2：喷涂技术		
Day 2 下午-2025 年 11 月 22 日，周六		
分会场：珠海厅		
主持人：王亮		
13:00-13:20	王亮 中国科学院上海硅酸盐所	邀请报告：AI-assisted visualization of the service-induced damage process in thermal barrier coatings
13:20-13:40	潘伟 清华大学	邀请报告：大气等离子喷涂制备超亲（疏）水涂层
13:40-14:00	毛卫国 长沙理工大学	邀请报告：先进涂层制备及服役性能评价技术
14:00-14:20	欧阳迪 武汉理工大学	邀请报告：低温烧结下冷喷涂涂层中的孔洞愈合机制
14:20-14:40	王志远 哈尔滨理工大学	邀请报告：Research on the forming mechanism and tribological properties of coatings by ultrasonic-assisted supersonic plasma spraying
14:40-15:00	刘梅军 西安交通大学	邀请报告：Deposition mechanism of treelike structure thermal barrier coatings
15:00-15:20	罗丽荣 上海交通大学	邀请报告：高温长寿命热障涂层材料及界面结构优化
15:20-15:50	茶歇 & 墙报展	
主持人：王志远		
15:50-16:10	高培虎 西安工业大学	邀请报告：激光重熔对等离子喷涂 AlCoCrFeNi 涂层摩擦磨损及耐腐蚀性研究
16:10-16:30	单萧 上海交通大学	邀请报告：等离子喷涂陶瓷涂层微观结构智能化识别
16:30-16:50	杨帆 上海交通大学	邀请报告：Re3TaO7 高温热障涂层材料性能评价与应用展望
16:50-17:05	陈冲 华中科技大学	口头报告：Pr 掺杂 Hf 基热防护涂层在长时间高温氧化环境中的抗烧蚀性能
主持人：高培虎		
17:05-17:20	张海媛 天津中环电炉股份有限公司	口头报告：高温可视化原位观测在热障涂层中的应用
17:20-17:35	李起保 西安工业大学	口头报告：Al-Cu-Fe-La 四元准晶等离子喷涂组织结构遗传特性研究
17:35-17:50	罗任乔 西安工业大学	口头报告：等离子喷涂制备(Al63Cu25Fe12)99.5(La,Ce)0.5 准晶涂层组织研究
17:50-18:05	方焕杰 中科院宁波材料所	口头报告：悬浮液等离子喷涂氧化铝涂层的结构调控与性能研究
18:00-20:00	晚宴 地点：北京厅	

分会 3：生物与生医涂层		
Day 2 下午-2025 年 11 月 22 日，周六		
分会场：澳门厅		
主持人：梅俊		
13:00-13:20	徐杰汉 香港大学	邀请报告：一种基于自组装涂层的生物矿化评价新方法
13:20-13:40	赵云 中国农业大学	邀请报告：纳米抗菌材料及其在陶瓷上的应用
13:40-14:00	沈羽 南京林业大学	邀请报告：Size-Engineered Magnetite Nanoparticle Coatings for Sustainable Crop Disease Management: A Dual-Protection Approach
主持人：徐杰汉		
14:00-14:20	梅俊 上海海洋大学	邀请报告：香蜂草精油的抑菌机理及其在海鲈鱼冷藏保鲜中的应用研究
14:20-14:40	蒋军 南京林业大学	邀请报告：Bio-based Flame-retardant Coatings for Wood Protection
14:40-15:00	杨武芳 中科院兰州化物所	邀请报告：仿生超亲水界面稳态流体减阻涂层技术
15:20-15:50	茶歇 & 墙报展	
主持人：蒋军		
15:50-16:10	宋玉军 北京科技大学	邀请报告：Oral Administrated Nanomedicines for Hepatocellular Carcinoma Therapy: The Case of Hydrogel Encapsulated Au@CoFeB-Rg ₃ Nanodrugs
16:10-16:25	彭诗芸 南昌大学附属口腔医院	口头报告：抗脱矿仿生釉质涂层及其正畸应用
主持人：宋玉军		
16:25-16:40	张鑫宇 武汉大学口腔医（学）院	口头报告：快速胶原矿化策略改善牙本质粘接界面的研究
16:40-16:55	徐梦晓 香港大学	口头报告：Electrochemical interactions on bio-interfaces between oral biofilms coatings and carbon felt electrodes
16:55-17:10	崔雨薇 上海交通大学	口头报告：生物医用金属 FSP 改性及性能研究
18:00-20:00	晚宴 地点：北京厅	

分会 4：沉积技术与应用		
Day 2 下午-2025 年 11 月 22 日，周六		
分会场：广州厅		
主持人：郭鹏飞		
13:00-13:20	涂溶 武汉理工大学	邀请报告：涂层刀具的高端化策略
13:20-13:40	尹华意 武汉大学	邀请报告：锂离子电池集流体涂层与防护研究
13:40-14:00	王启伟 暨南大学	邀请报告：高稳定绿色化电镀工艺技术与成套装备
14:00-14:20	李建中 东北大学	邀请报告：冷轧板表面镀锡层特性的调控机理
主持人：李建中		
14:20-14:40	郭鹏飞 太原理工大学	邀请报告：Bandgap Modulation and Applications of 1-D Semiconductor Nanostructures
14:40-15:00	薛彦鹏 北京科技大学	邀请报告：激光熔覆高熵合金/碳化钨复合涂层及其耐磨耐蚀性能研究
15:00-15:20	高兆和 上海大学	邀请报告：航空发动机钛合金叶片氮化物防护涂层微结构调控与长寿命服役机理
15:20-15:50	茶歇 & 墙报展	
主持人：薛彦鹏		
15:50-16:10	田野 中北大学	邀请报告：Magneto-optics in a Sn doped CdS microcone tuned by quantum confinement effect
16:10-16:30	刘包发 宝武中央研究院	邀请报告：金属包装的绿色革新：三价铬高速电镀替代六价铬工艺研究
16:30-16:50	郝龙 中科院金属所	邀请报告：金属表面薄膜层结构及耐蚀性演化的电化学阻抗谱表征技术
16:50-17:10	孙剑 中国地质大学(武汉)	邀请报告：有机框架材料涂层在光电探测器中的应用
17:10-17:30	汪笑鹤 装甲兵工程学院	邀请报告：电刷镀锌镍合金镀层对高强钢抗氢脆性能研究
17:30-17:50	汪国庆 南京林业大学	邀请报告：轻质合金微弧氧化表面多功能复合涂层的设计策略
17:50-18:05	冯芷琪 华中科技大学	口头报告：调制周期对 WS ₂ -DLC/DLC 多层涂层的协同润滑机制的影响
18:00-20:00	晚宴 地点：北京厅	

分会 5：光功能涂层		
Day 3 上午-2025 年 11 月 23 日，周日		
分会场：武汉厅		
主持人：邹永纯		
08:30-08:50	曹华堂 华中科技大学	邀请报告：Self-adaptive and Self-healing tribological behaviors of sputtered WS(C, N) nanocomposite coatings
08:50-09:10	吴宇 北京理工大学	邀请报告：高能激光毁伤与防护涂层材料
09:10-09:30	马广义 大连理工大学	邀请报告：多材料构件激光增材制造技术
09:30-09:50	杨明 中国民用航空飞行学院	邀请报告：量子材料红外光电探测器及其应用
09:50-10:10	张茂 华中科技大学	邀请报告：大型覆盖件模具激光表面淬火强化工艺与智能化装备
10:10-10:40	茶歇	
主持人：曹华堂		
10:40-11:00	邹永纯 哈尔滨工业大学	邀请报告：铌合金表面微弧氧化-纳米粒子沉积烧结 NbSi ₂ /Nb ₂ O ₅ -SiO ₂ /HfC-HfO ₂ 复合涂层构建与高温防护性能
11:00-11:20	杨丽霞 南京航空航天大学	邀请报告：航空发动机热障涂层温度与隔热性能荧光测试技术研究
11:20-11:40	吴建红 宁波工程学院	邀请报告：连续激光驱动下非线性光热超宽带发光的性能与光谱调控
11:40-11:55	韩伟 北京工业大学	口头报告：Low-k 材料激光开槽技术研究
返程		

分会 6：新能源涂层		
Day 3 上午-2025 年 11 月 23 日，周日		
分会场：珠海厅		
主持人：李和平		
08:30-08:50	李和平 华中科技大学	邀请报告：氧化铝阻氢涂层研究进展
08:50-09:10	陈万平 武汉大学	邀请报告：高浓度有机染料废水的摩擦催化治理研究
09:10-09:30	魏强 河北工业大学	邀请报告：模拟月壤微波烧结体冷却过程中表层热应力与组织结构研究
09:30-09:50	王梦然 中南大学	邀请报告：高安全锂二次电池用关键材料研究
09:50-10:10	黄洪涛 中山大学	邀请报告：Fe—Al/Al ₂ O ₃ 阻氚涂层的低温制备、渗透机理及辐照效应研究
10:10-10:40	茶歇	
主持人：魏强		
10:40-11:00	张涛 广州大学	邀请报告：耐蚀耐磨阻氢多功能纳米复合陶瓷涂层及涂料
10:40-11:00	香承杰 重庆交通大学	邀请报告：光热超疏水涂层防除冰研究
11:00-11:20	邢伟义 中国科学技术大学	邀请报告：阻燃辐射制冷涂层的制备及性能研究
11:20-11:40	张锋华 北京化工大学	邀请报告：辐射制冷薄膜与涂层技术研究
11:40-12:00	莫少杰 华中科技大学	口头报告：Amorphous (ErAlCrZrTi)O High-Entropy Nanofilms for Highly Efficient Hydrogen Embrittlement Prevention
12:00-12:15	杨化雨 华中科技大学	口头报告：A novel nanometer-thick nanocrystalline CeO ₂ coating achieving high hydrogen permeation barrier performance
返程		

分会 7：文物保护涂层		
Day 3 上午-2025 年 11 月 23 日，周日		
分会场：澳门厅		
主持人：潘皎		
08:30-08:50	潘皎 北京科技大学	邀请报告：秦始皇帝陵博物院保存环境微生物分析和综合控制技术研究
08:50-09:10	胡瑜兰 浙江大学	邀请报告：基于静电纺丝技术的文物微生物防治研究
09:10-09:30	查剑锐 北京科技大学	邀请报告：面向砂岩质石窟寺防风化的纳米 SiO ₂ 增强酯交换环氧树脂研究
主持人：胡瑜兰		
09:30-09:45	祝磊 北京建筑大学	口头报告：Topology-optimized reinforcement of Terracotta Warriors validated by shaking-table testing and finite-element analysis
返程		

海报展示

编号	姓名	题目
Day 2 下午 - 2025 年 11 月 22 日，周六，15:20-15:50		
珠海厅门口		
1	袁嘉城	基于磁控溅射氧化铝的带有增透效果的超疏水薄膜的制备
2	吕 燕	GO/SiO2 协同改性环氧树脂复合涂层的制备及其耐蚀性能研究
3	双景轩	耐高氯脱硫废水腐蚀涂层研究
4	王骁栋	无机荧光粉在近红外激光持续激发下产生近红外光现象的研究
5	胡吉博	基于分段掺氧式的低温制备金刚石涂层刀具及切削性能研究
6	吴满婷	6063 铝合金基体表面铜粉氧含量对冷喷涂涂层界面行为的影响
7	党炎培	双光子光刻制备硅硼碳氮陶瓷表面微纳结构

Session 1. 文物保护涂层

sciforum-154815: Topology-optimized reinforcement of Terracotta Warriors validated by shaking-table testing and finite-element analysis

Lei ZHU, Xingqi LIU

¹ Beijing University of Civil Engineering and Architecture

The Terracotta Warriors, hailed as the ‘Eighth Wonder of the World’, suffer from material degradation and structural instability, raising concerns about secondary damage. Conventional reinforcement brackets are limited in addressing the diverse forms and uneven stress distributions of restored figures, making individualized protection essential. This study proposes a reinforcement method based on topology optimization. A customized bracket for a standing Terracotta Warrior replica was designed and validated through shaking table tests, confirming its effectiveness. Furthermore, the study further introduces aerospace-grade materials into the design of reinforcement brackets for the Terracotta Warriors, selecting polycarbonate (PC) as a representative material. Using finite-element simulations under the same geometry and boundary conditions as the steel bracket, we comparatively evaluated its dynamic response. The results show that the PC bracket, while maintaining 90% light transmittance and appropriate material hardness, achieves an average reinforcement efficiency of 39%, balancing exhibition aesthetics and structural safety. The proposed method is broadly applicable to individualized support and reinforcement for large, brittle heritage objects, including standing terracotta figures, ceramic sculptures, stone/wood statues, and thin-walled hollow artifacts in in-situ displays and museum exhibitions.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-146836: 基于静电纺丝技术的文物微生物防治研究

Ruofan Wu, Yulan Hu

¹ Zhejiang University

文物易受到微生物病害的侵袭，出现微生物劣化现象。常见的用商用杀菌剂喷涂、浸泡或熏蒸文物容易引起文物本体结构破坏、氧化变色、诱导耐药菌生成和环境污染等问题。因此，环保安全、具有可逆性、对文物影响小的微生物防治技术亟待开发和研究。研究以精油作为绿色环保的抑菌材料，结合静电纺丝技术，制备负载精油的纳米纤维膜，不仅有效避免了精油易挥发造成的抑菌时间短的问题，还可以减少精油与文物直接接触，由此降低了因精油溶液渗入文物而导致的保护性破坏的风险。本研究利用静电纺丝技术，负载精油，制备了不同的纳米纤维膜，并评估了其对于纸质文物、纺织品文物及石质文物生物病害的抑制作用。研究表明，所制备的纳米纤维膜具有良好的抗菌和抗生物附着性能，可有效抑制生物的生长。本研究为开发新型文物保护材料提供了科学依据，对文化遗产的长期保存具有重要实践意义。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-159393: 面向砂岩质石窟寺防风化的介孔分子筛增强酯交换环氧树脂研究

Huang Qijun

¹ University of Science and Technology Beijing

石窟寺等砂岩文物长期受干湿循环、盐结晶与冻融作用影响，易发生粉化、剥落及盐壳堆积等病害。然而现有加固剂普遍存在渗透性不足、耐盐性与耐候性有限，封闭性强等问题，容易在盐环境下引发脆化、老化或者界面盐堆积等次生损伤，且后期难以去除。因此，亟需研发兼具良好渗透性、可逆性及抗盐-冻融能力的多目标优化新型加固体系。为解决上述问题，本文制备了基于介孔分子筛 MCM-48 增强的酯交换环氧树脂复合材料 EN48，并从理化性能、可逆性及耐盐结晶-冻融老化行为等方面开展系统评估。结果表明，EN48 具有良好的流动性和施工性能，可有效渗入砂岩孔隙并显著提升力学强度，使单轴抗压强度提高 39.1%。可逆性测试显示，该材料可在乙醇-氨水体系中快速解体，满足文物加固“可再处理性”要求。DVS 测试表明 EN48 表现出显著的“强吸附-弱迁移”特征，削弱水盐在孔隙中的长程迁移。对盐结晶-冻融老化过程的质量、电化学以及脉冲速度进行监测，整个循环过程中未出现裂缝或盐壳堆积，脉冲速度损伤指数为 1.8%，退化速率仅 0.12%/循环。微观表征结果进一步验证了其抑盐机制：显微红外热图显示加固后盐晶呈离散岛状分布，孔隙空间连通性显著降低。SEM 观察到砂岩内部形成均匀分散的纳米等轴盐晶，而非易引发破坏的柱状或针状晶体；拉曼光谱中硫酸根主峰由 993 cm^{-1} 移至 997 cm^{-1} ，表明盐结晶趋于更为有序的晶格形态。显微红外结果显示盐结晶呈现离散的岛状分布，砂岩内部空间连通性显著降低。综上，EN48 兼具优良的渗透性、力学增强、可再处理性与抗盐-冻融老化性能，可为砂岩石窟文物在复杂含盐环境下的长期稳定保护提供一种高效、温和且可持续的新型加固材料。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Session 2. 喷涂技术

sciforum-158992: 氢混燃料燃机热障涂层材料设计及性能研究

晓峰 赵

¹ 上海交通大学

与天然气相比，氢燃料可以大幅减少燃气轮机的碳排放。然而，氢燃烧火焰温度高、水蒸气含量高、燃烧速度快，严重缩短热障涂层服役寿命。本报告针对现役 YSZ 涂层材料承温极限不足（1200°C）及高温水蒸气环境下性能演化不明的问题，首先聚焦 YSZ 体系，揭示了水蒸气环境下材料结构演变与热物理性能退化机制。并开发了高熵多主元稀土锆酸盐涂层，兼具优异高温稳定性（>1400°C）、低热导率（1.1 W/m·K）及高热膨胀系数（ $>12.5 \times 10^{-6}/K$ ）。与传统锆酸盐相比，高熵稀土锆酸盐体系热循环寿命提升 33%。此外，围绕高温水氧腐蚀环境下 MCrAlY 粘结层腐蚀加速的问题，发现水蒸气环境下氧化膜亚稳相转变难度大、H 质子增加氧化膜内部晶格缺陷、氧化膜/金属界面孔洞生长加速是主要原因。基于上述研究，提出活性元素“重掺杂”设计思路，通过扭转氧化膜生长方向及消除界面缺陷，显著提升 MCrAlY 粘结层抗高温水氧腐蚀性能。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154869: Research on the forming mechanism and tribological properties of coatings by ultrasonic-assisted supersonic plasma spraying

Zhiyuan Wang¹, Huan Chen¹, Cong Zhang¹, Bowen Yao¹, Jianing Wang¹, Yang Liu¹, Fengyuan Bao¹, Lin Cao²

¹ School of Materials Science and Chemical Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin, 150080, China

² BeiYi Semiconductor Technology Co., Ltd, Mudanjiang, 157500, China

With the escalating requirements for high-end equipment manufacturing, high-performance coating technology has emerged as a key research orientation. This study conducted innovative exploration in response to the limitations of traditional thermal spraying techniques, such as high porosity and low bonding strength of coatings, and proposed the ultrasonic-assisted supersonic plasma spraying technology. The results show that the porosity of the Ni60 coating after ultrasonic treatment decreased from 2.60% to 0.87%. The average hardness increased from 557.51 to 610.02MPa. the average bonding strength rose from 33.23 to 44.88 MPa. The average friction coefficient decreased from 0.4728 to 0.4444. The main mechanism of action is as follows: the acoustic streaming effect and micro-jet of ultrasonic waves effectively promote the aggregation and expulsion of pores in the molten pool, reducing porosity. The strong shock wave produced when cavitation bubbles collapse will act on the grains, resulting in the refinement of grains and thereby increasing the hardness and bonding strength. Meanwhile, ultrasonic treatment triggers a phase transformation from an amorphous or disordered state to an ordered crystalline state, further improving the mechanical properties of the coating.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-140598: YSZ 涂层抗 CMAS 腐蚀性能优化手段 Optimization strategies for enhancing CMAS corrosion resistance in YSZ coatings

Wenzhi Huang

¹ Science and Technology on Advanced Ceramic Fibers and Composites Laboratory, College of Aerospace Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, P.R. China

热障涂层 (TBCs) 是应用于航空发动机金属高温部件表面的陶瓷涂层, 能够显著提升其工作温度与抗氧化性能。然而, 熔融环境沉积物 (CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂, 简称 CMAS) 所引发的腐蚀问题, 严重威胁着航空发动机的使用寿命。为解决传统 8 wt% Y₂O₃ 稳定 ZrO₂ (8YSZ) 涂层在抗 CMAS 性能方面的不足, 本研究提出了一种创新性的优化策略, 即结合第二相复合改性与高浓度掺杂改性方法。采用大气等离子喷涂技术制备了 LaPO₄-YSZ 复合涂层以及 Y₂O₃ 掺杂量提高至 56% 的 56YSZ 涂层, 并系统研究了它们在不同温度下的腐蚀行为及其作用机制。研究表明, 第二相颗粒在 YSZ 晶界处的富集形成了弱界面结构, 从而提升了材料的断裂韧性。同时, 第二相与 CMAS 迅速反应生成连续致密的磷灰石基保护层, 有效抑制了 CMAS 的渗透。在 56YSZ 涂层中, 充足的 Y³⁺ 离子参与反应, 形成稳定的磷灰石层, 实现了腐蚀过程的自抑制。抗 CMAS 性能的提升主要源于对界面反应路径的有效调控, 其中快速形成的结晶性阻挡层可有效阻止熔盐的侵入。上述研究成果为下一代热障涂层的成分设计与性能优化提供了重要的理论依据和技术指导。

Thermal barrier coatings (TBCs), as ceramic coatings deposited on metallic hot-section components of aeroengines, significantly enhance the operational temperature capability and oxidation resistance. However, corrosion induced by molten environmental deposits (CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂, CMAS) poses a severe threat to the service life of aeroengines. To address the insufficient CMAS resistance of conventional 8 wt% Y₂O₃-stabilized ZrO₂ (8YSZ) coatings, this study proposes an innovative optimization strategy that combines second-phase composite modification with high-concentration doping modification. LaPO₄-YSZ composite coatings and 56YSZ coatings with elevated Y₂O₃ doping were fabricated via atmospheric plasma spraying. Subsequently, their corrosion behaviors and mechanisms at different temperatures were systematically investigated. The results show that the aggregation of second-phase particles at YSZ grain boundaries forms weak interfaces, thereby improving fracture toughness. Concurrently, the second phase reacts rapidly with CMAS to generate a continuous, dense apatite-based barrier layer, which effectively inhibiting CMAS infiltration. In 56YSZ coatings, sufficient Y³⁺ ions react with CMAS to form an apatite layer, achieving self-inhibition of corrosion. This work reveals that the enhancement of CMAS resistance originates from the regulation of interfacial reaction pathways, where rapid crystallization of barrier layers blocks the penetration of molten salt. These findings provide critical insights for the composition design and performance optimization of next-generation TBCs.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-139630: 6063 铝合金基体表面铜粉氧含量对冷喷涂涂层界面行为的影响

Manting Wu

¹ Zhejiang Yinlun Machinery Co., Ltd

探究铜粉性能对冷喷涂涂层界面行为的影响机制，对冷喷涂工艺的优化具有重要意义。本研究揭示了 6063 铝合金基体表面铜粉特性与冷喷涂涂层界面行为的构效关系，通过实验系统考察了不同雾化铜粉氧含量对沉积厚度及涂层界面结合强度的影响规律。采用扫描及电子显微镜观察铜粉表面微观形貌；通过万能试验拉伸机检测涂层界面的结合强度；利用金相显微镜观察铜涂层的沉积厚度。结果表明，BHS 铜粉表面光滑，颗粒分布清晰，氧含量较低；ZY 细颗粒较多，氧含量较高；在相同工艺条件下，BHS 冷喷涂铜涂层厚度分布在 73.94 μm ~162.27 μm 之间，涂层致密性良好；ZY 铜粉产品厚度的最小值为 34.27 μm ，最大值为 136.69 μm ，厚度分布不均，涂层之间出现裂纹；BHS 喷涂产品基材与涂层之间的结合强度达到 70 MPa 以上，比 ZY 的最大结合强度高 61MPa。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-144164: AI-assisted visualization of the service-induced damage process in thermal barrier coatings

Liang Wang

¹ Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, China

Thermal barrier coatings (TBCs) inevitably face failure during practical service, and predicting their failure modes and service lifespan remains a common challenge in the scientific community. To address this, we have developed an AI-driven, dual-modal ("ear-listening" and "eye-seeing") visualization framework for the full-process monitoring of TBCs' service-induced damage. By dynamically analyzing in-situ acoustic emission (AE) signals from TBCs under mechanical loading and actual service conditions—including filtering, fast Fourier transform (FFT), wavelet (packet) analysis, K-Means unsupervised machine learning clustering, wavelet energy coefficient calculation, and neural network analysis (BP and RBF neural networks)—we designed a software system that establishes real-time correlations between internal crack propagation modes and AE signal features, enabling rapid "ear-listening" identification of coating failure modes. Additionally, leveraging batch and automated labeling of microstructural features in cross-sectional images of as-prepared and early-service TBCs, combined with deep learning and long short-term memory (LSTM) neural networks, we achieved dynamic prediction of microstructural evolution, particularly tracking the crack propagation patterns over extended service durations. This integrated approach realizes AI-powered dual-modal (auditory and visual) visualization of TBCs' failure behavior, bridging the gap between real-time damage monitoring and predictive lifespan assessment.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-140422: Al-Cu-Fe-La 四元准晶等离子喷涂组织结构遗传特性研究

Qi-bao Li, Ru Jia, Peihu Gao, Ren-qiao Luo, Xiong Yan

¹ Xi'an Technological University

以 6061-T6 铝合金为基体和机械研磨化的 Al-Cu-Fe-La 四元铸态准晶合金粉末为热喷涂材料, 采用等离子喷涂方法制备准晶涂层, 通过 XRD、SEM、EDS 能谱及 TEM 等方法对等离子喷涂前准晶合金粉末和喷涂后粉末的组织形貌与物相进行分析, 同时也对准晶合金涂层的微观组织演变及其物相含量的变化进行了研究。结果表明, 铸态准晶合金粉末中二十面体准晶相 (I 相) 为主相, 其含量为 45.68%, 同时含有 Al₁₃Fe₄ 相、AlCu 相及少量的准晶类似相 (β 相), 粉末的微观形貌呈不规则多面体。经过等离子喷涂后, 喷涂后的粉末呈现近球形状, 涂层中 I 相的尺寸由微米级转变为纳米级, I 相的含量提高至 59.44%, 相组成与喷涂后的粉末接近。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-150953: Deposition mechanism of treelike structure thermal barrier coatings

Meijun Liu, Guanjun Yang

¹ Xi'an Jiaotong University

Plasma spray-physical vapor deposition (PS-PVD) is a unique processing method that enables highly tailorable coatings composed of a variety of materials in thin, dense layers or columnar microstructures with modification of the processing conditions. At present, the main approach to investigate PS-PVD technology is to design process - observe structure - examine performance, and this leads to lack of comprehensive investigation on the material transport and deposition process. As a result, a large number of experimental data can not be integrated and form a unified theory, meanwhile the design and development of advanced coatings is limited. In this study, the numerical simulation method and experimental are used to systematically examine the ceramic material transport behavior. Firstly, the internal/external double energy compensation mechanism and synergistic effect are studied to clear how to achieve the materials evaporation completely. Then, the thermodynamic gaseous material capacity of plasma jet is studied to grasp the the mechanism of material state control. Furthermore, the thermodynamic gaseous material capacity of supersaturation boundary layer is studied to clarify the status of deposition unit. This study can provides a scientific support for the formation of PS-PVD preparation theory.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154471: Pr 掺杂 Hf 基热防护涂层在长时间高温氧化环境中的抗烧蚀性能

Chong Chen, Heping Li

¹ Huazhong University of Science and Technology

C/C 复合材料虽然在高温下具有优异的力学性能,但是在高温氧化环境下 C/C 复合材料面临严重烧损的问题。为了提高 C/C 复合材料的抗烧蚀性能,采用化学气相渗硅与固相反应相结合的方法制备了 Pr 掺杂 Hf 基热防护涂层。对涂层的抗烧蚀性能进行了测试:在大于 1900K 的温度下长时间烧蚀后,得益于 Hf-Si-O 钉扎相的存在以及 Pr 元素的掺杂,经烧蚀测试后,表面涂层完整,质量损失率为 $5.93 \times 10^{-5} \text{g/s}$,表现出优异的抗烧蚀性和稳定性,且烧蚀时间显著超过了以往的防烧蚀涂层。此外,在测试过程中发现涂层还具有不错的隔热性能,正面与背面在测试中具有约 800K 的温差,这主要归因于烧蚀前后涂层的高发射率得以保持,使得涂层在高温时能够将大部分热量以热辐射的形式辐射耗散到大气中。对测试后的一些列样品表征后发现,涂层在超长时间的烧蚀过程中成分和结构的变化具有可逆性。进一步分析后,这可能是由于 Pr 元素掺杂后使得涂层内部氧化不完全,在氧分子不充分的情况下,发生了还原。研究结果对高温长时间服役装备的热防护具有重要参考价值和指导意义

C/C composites exhibit excellent mechanical properties at high temperatures, however in high-temperature oxidative environments it face severe oxidation damage. To enhance the anti-ablation performance of C/C composites, a method combining chemical vapor infiltration of silicon with solid solution reaction was used to prepare Pr-doped Hf-based thermal protection coating. The anti-ablation performance of the coating was tested: after long-time ablation at temperatures above 1900K, the surface coating remained intact, with a mass loss rate of $5.93 \times 10^{-5} \text{g/s}$, demonstrating excellent anti-ablation properties and stability, and the ablation time significantly exceeded that of previous anti-ablation coatings. Additionally, during the test, it was found that the coating also had good thermal insulation properties, with a temperature difference of about 800K between the surface and back, which is mainly attributed to the maintenance of high emissivity of the coating before and after ablation, allowing the coating to dissipate most of the heat in the form of thermal radiation into the atmosphere at high temperatures. After characterizing a series of samples post-test, it was found that the changes in composition and structure of the coating during ultra-long-term ablation were reversible. Further analysis suggested that this might be due to the incomplete oxidation of the coating after Pr element doping, leading to reduction under conditions of insufficient oxygen molecules. The research results have significant reference value and guiding significance for thermal protection of equipment operating at high temperatures for extended periods.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-141331: 低温烧结下冷喷涂涂层中的孔洞愈合机制

Di Ouyang¹, Zhiyu Liu², Cheng Zhang², Lin Liu²

¹ Wuhan University of Technology

² Huazhong University of Science and Technology

孔洞缺陷是冷喷涂涂层中普遍存在的问题，严重地影响了涂层的力学性能及其与基体的结合强度。为了解决此问题，本研究通过低温下烧结，有效地实现了冷喷涂涂层中孔洞的愈合，并从原子尺度揭示了孔洞的愈合机制。研究发现，冷喷涂 CuCrZr 涂层经 500°C (~0.59 T_m) 20 h 烧结后，涂层内部及其与 Al₂O₃ 弥散铜基体界面中的孔隙率获得了显著降低，使涂层的剪切强度相比未处理状态提高了 3.5 倍。冷喷涂过程中，粉末与基体高速剧烈碰撞引发了连续动态再结晶，在界面附近形成了一层纳米晶中间层，该中间层具有热稳定性低、晶体生长速率快的特点，加速了烧结时的孔洞愈合过程。原位透射电镜的结果表明，纳米晶的长大及 Cr₂O₃ 氧化物的原位形成会逐渐将孔洞填充，从而实现了孔洞的愈合。分子动力学模拟的结果表明，纳米晶长大时的晶界迁移促进了原子的扩散、增强了晶界与孔洞的交互作用，晶界内部的结构转变也为空位的传输提供了有效的扩散通道，这些综合因素对孔洞的愈合发挥了积极地作用。上述研究成果为高性能冷喷涂涂层的制备及其后处理提供了理论基础。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154351: 先进喷涂技术在析氢电极制备中的应用与优化研究

Qinqin Chen, Xinkun Suo

¹ a Multidimensional Additive Manufacturing Institute, Faculty of Mechanical Engineering and Mechanics, Ningbo University, 315211, Ningbo, PR China

氢能作为 21 世纪的终极能源，具有高能量密度、零排放和可再生的特点。然而，目前常用的电解水析氢催化剂涂层材料单一，限制了催化性能的进一步提升。本研究采用高通量实验设备筛选 NiCoMoCu 合金材料，并通过机器学习方法逆向设计优化析氢催化剂的成分，随后采用等离子喷涂技术对优化后的催化剂成分进行喷涂，成功制备了高性能的析氢电极。通过 COMSOL 模拟及对等离子喷涂工艺参数的研究，掌握了关键技术。除了等离子喷涂外，本研究还采用激光喷涂、冷喷涂和液料等离子喷涂等先进技术，系统研究了不同喷涂工艺对催化性能的影响。研究表明，等离子喷涂法能够有效制备高性能析氢电极，而激光喷涂、冷喷涂和液料等离子喷涂在涂层孔隙结构和催化活性方面展现了独特优势。本研究提出了优化电极性能的关键技术路径，为提升电解水析氢效率提供了新的思路和技术支持。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154295: 悬浮液等离子喷涂氧化铝涂层的结构调控与性能研究

焕杰 方

¹ 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 海洋关键材料全国重点实验室

凭借高比强度、轻量化、耐腐蚀等性能优势，钛合金已逐渐成为法兰、阀门等先进海洋装备关键部件的重要选材。然而在实际使用过程中，含泥沙、海生物的流动海水会造成钛合金部件发生严重的冲刷磨损问题。此外，钛合金与异种连接金属之间的电偶腐蚀现象也是影响先进海洋装备可靠性和服役寿命的瓶颈问题。采用表面强化技术是减轻钛合金部件表面腐蚀、磨损等损伤破坏并提供长效防护的有效措施之一。针对海洋服役钛合金部件的防护需求，本工作以 1~5 μm 粒径的 Al_2O_3 作为喷涂原料，研究了溶剂、分散剂种类以及 pH 对悬浮液分散性和稳定性的影响。随后，基于优化后的氧化铝悬浮液，对喷涂功率、送液量、喷涂距离等关键喷涂工艺参数进行了调控与优化，探究了 SPS Al_2O_3 涂层的微观结构与性能。相关研究的结果与发现，为我国先进海洋装备的建造、服役与维护提供了理论基础和技术支撑。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-140416: 等离子喷涂制备 (Al₆₃Cu₂₅Fe₁₂)_{99.5}(La,Ce)_{0.5} 准晶涂层组织性能研究

Ren-qiao Luo, Qi-bao Li, Peihu Gao, Xiong Yan, Ru Jia

¹ Xi'an Technological University

本研究采用等离子喷涂技术在 7075 铝合金基体上成功制备了 La-Ce 复合改性的 (Al₆₃Cu₂₅Fe₁₂)_{99.5}(La,Ce)_{0.5} 准晶涂层, 探究了喷涂工艺参数对涂层微观组织及性能的影响。通过 XRD、SEM 和 EDS 分析组织结构, 结果表明: 涂层保留了铸态准晶合金的物相组成, 准晶 I 相具有显著的遗传特性。正交试验优化结果显示, 喷涂功率 30 kW、距离 80mm 时涂层性能最佳, 孔隙率仅为 3.91%, 显微硬度达 694.2HV_{0.2}, 较基体提升约 5 倍。室温摩擦磨损试验表明, 涂层平均摩擦系数低于基体, 耐磨性显著优于基体, 磨损机制以磨粒磨损为主。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154429: 高温可视化原位观测在热障涂层中的应用

Sihui Jiao

¹ 天津中环电炉

热障涂层 Thermal barrier coatings (TBCs) 具有耐高温、高隔热的优异性能，是航空发动机热端部件不可或缺的关键隔热防护材料，可以显著降低了合金表面温度，对金属部件起到保护作用。广泛应用于客机、战斗机、高超音速飞行器、燃气轮机等。在高温服役过程不免会受到大气中 $\text{CaO-MgO-A1}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (CMAS)熔体腐蚀，导致其剥落，这也成为热障涂层服役环境中最危险的失效形式。因此，实现对 CMAS 的高温熔化过程（包括其特征温度）、以及与涂层界面润湿行为的实时原位观测，成为一项关键需求。天津中环电炉研发的高温可视化原位观测技术，可对这一系列高温反应的全过程进行动态观测与精准测量。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Session 3. 沉积技术与应用

sciforum-159506: 航空发动机钛合金叶片氮化物防护涂层微结构调控与长寿命服役机理

Zhaohe Gao

¹ 上海大学材料基因组工程研究院

航空发动机用钛合金风扇与压气叶片在服役中容易遭受高温(100-700°C)潮湿盐雾空气氧化腐蚀、高速雨雪/沙尘颗粒冲蚀、钛火等损伤，钛铝合金低压涡轮叶片容易遭受高温(700-900°C)氧化、冲蚀以及烧蚀等损伤，钛及钛铝合剂表面开展系统的防护涂层设计是其在航空发动机在苛刻环境下可靠运行的保障。本次汇报中，我们将系统的介绍氮化物涂层的微结构调控与设计，以及决定氮化物涂层长寿命服役的界面扩散、界面孪晶、界面粗糙度的微结构界面调控理论。通过这类工作，希望能推动氮化物陶瓷涂层对航空发动机钛及钛铝合金叶片防护的应用。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-150414: 金属包装的绿色革新：三价铬高速电镀替代六价铬工艺研究

Bao Fa Liu

¹ Baoshan Iron and Steel Co., Ltd

铬镀层因其优异的耐腐蚀性能，被广泛应用于汽车、电子设备及金属包装等领域。目前用于金属包装的镀铬板大多基于传统的电解铬酸工艺，其镀液主要成分为铬酐（又称铬酸或三氧化铬）。铬酐属于六价铬化合物，是一种高毒性物质，对环境和人体健康危害显著，在全球范围内正受到日益严格的限制。根据欧盟 REACH 法规，自 2024 年 9 月 21 日起将全面禁止使用六价铬酸盐；我国新环保法也对包括铬酐在内的六价铬化合物的使用作出了严格限制。

尽管镀铬板产品性价比高，在一定程度上难以被替代，但其现行的铬酐镀铬生产工艺环保性较差。因此，采用环保型镀铬工艺替代传统的六价铬工艺已成为现实且迫切的选择。三价铬盐的毒性仅为六价铬的约百分之一，三价铬镀铬工艺属于绿色环保型生产工艺，已在装饰镀领域得到成熟应用，工艺开发和实际应用具备良好基础，因而是理想的环保镀铬技术路线。

与六价铬镀铬工艺相比，三价铬镀铬工艺具有电流效率更高、镀液分散能力与整平能力更优等优点；其缺点主要在于镀液组分较为复杂，包括主盐、配位剂、导电盐、缓冲剂以及其他添加剂。实现三价铬离子的高速沉积，关键在于镀液中配位剂的研究。常用的三价铬配位剂包括甲酸盐、乙酸盐、羧酸盐和磷酸盐等类型。研究表明，相比单一配位剂，复合使用两种或以上的络合剂可取得更佳的络合效果。此外，缓冲剂与稳定剂的研发也同样重要。

当前三价铬镀铬技术的主要发展方向包括：持续提升镀液的电镀性能与稳定性，重点推进配位剂和添加剂的开发、镀液杂质离子控制、不溶性阳极技术等方面的研究，并不断推动基于三价铬镀铬工艺的新型铬镀层产品技术的创新与发展。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-153063: Bandgap Modulation and Applications of 1-D Semiconductor Nanostructures

Pengfei Guo

¹ College of Physics and Optoelectronics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

低维半导体纳米材料，特别是一维无机钙钛矿纳米线不仅具有独特光电性能和几何结构，而且具有高荧光效率、可调带隙结构、长载流子扩散长度等优越的光电子学性质，能够形成单向的粒子输运通道，从而大大提高光生载流子的输送效率和光电转换效率，是构建新型光子器件的重要结构单元。报告介绍了通过化学气相沉积法制备低维半导体纳米结构及组分调控，从而推广应用于无机钙钛矿纳米材料，包括 CsPbX_3 ($\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) 钙钛矿纳米线轴向异质结构，超晶格纳米结构，纳米线全组分调控等。研究不同纳米结构应用于光波导，纳米激光器，光探测器等领域的研究，实现室温白光发射，波长可调谐纳米激光器，双波长纳米激光器，光电流成像等。这些独特的纳米结构将为新型纳米光电子器件的发展提供新思路。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-153121: Magneto-optics in a Sn doped CdS microcone tuned by quantum confinement effect

Ye Tian

¹ Beijing Institute of Technology

Although magneto-optical phenomena have been studied for decades in low dimensional materials, studying the impact of quantum confinement effects on magneto-optical properties remains a significant challenge. Here, the surface-induced quantum confinement effect in a Sn doped CdS microcone was demonstrated through photoluminescence spectroscopy and angle-resolved photoluminescence spectroscopy. In this structure, the quantum confinement effect has been proven to greatly enhance the tuning range of magneto-optics polarization, and its tuning range nearly 100%. Through magneto-optical measurement characterization, we attribute ultrabroadband polarization control to the Faraday magneto-optical rotation. Additional first-principles calculations have suggested that the enhancement of the magneto-optical effect is related to isotropic exchange interaction from the hybridization of Sn atoms d-orbitals. Our results highlight the importance of quantum confinement effects in magneto-optical polarizations and motivate novel directions for the manipulation of material properties



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-150207: 基于分段掺氧式的低温制备金刚石涂层刀具及切削性能研究

吉博 胡¹, 孝祥 朱¹, 树森 赵¹, 义帅 张²

¹ 郑州航空工业管理学院

² 郑州航空工业管理学院; 郑州机械研究所有限公司

在硬质合金刀具基体表面涂覆 CVD 金刚石保护涂层可以有效提高其机械切削性能, 但涂层与基底之间的膜基界面结合强度较差, 影响其产业化应用。本文提出分段掺氧式工艺技术, 讨论分析金刚石薄膜的表面形貌、质量、压痕形貌及刀具磨损等性能。实验结果表明, 低温条件下随着氧含量的增加, CVD 金刚石的形貌、纯度及沉积速率等性能均提升, 而高温条件下却相反。采用分段掺氧式工艺 (低温掺氧 2 h 和高温无氧 9 h), 沉积速率比低温沉积增长了约 2 倍, 残余应力约为高温工艺的 53%, 压痕直径约为高温工艺的 60%且刀具表面磨损轻微, 涂层完整性较好。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154688: 基于磁控溅射氧化铝的带有增透效果的超疏水薄膜的制备

志农 喻, 嘉城 袁

¹ 北京理工大学

本文采用磁控溅射的 Al_2O_3 作为后续处理的基底。磁控溅射作为常用的生产薄膜的机器，能够批量均一地生产 Al_2O_3 薄膜。在对氧化铝薄膜进行简单的水处理之后能够将可见光透过率提高到至多 96%，CVD 改性之后能够轻松实现超疏水（接触角 $\geq 150^\circ$ ，滞后角 $\leq 10^\circ$ ），透过率仅有小幅度下降（依然大于裸玻璃），且生产的薄膜具有良好的耐水（去离子水浸泡 3h）、耐热（ 150°C 3h）、除污、耐超声（40kHz 频率的超声作用 20 min）效果。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154603: 涂层刀具的高端化策略

溶涂, 嵩章, 联盟 张

¹ 武汉理工大学

我国有涂层的硬质合金刀具的市场份额超过 50%，但核心的技术发明专利申请较少，应鼓励科研院所依托专利技术创办企业或者转让专利，加快刀具涂层技术的成果转化。以多相弥散、纳米多层梯度结构的涂层为主，针对航空航天、医疗器械等新兴行业中高温合金、钛合金、碳纤维复合材料等难切削材料，主要发展“细晶粒基体材料+复合涂层”刀具，以适应高速切削、干式切削、高精度加工的高端需求。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-148037: 激光熔覆高熵合金/碳化钨复合涂层及其耐磨耐蚀性能研究

Yanpeng XUE, Tao Wu

¹ University of Science and Technology Beijing

针对模具在高温工况下的实际需求, 采用耐高温高熵合金材料替代钴/镍基材料来作为金属陶瓷复合涂层的粘结相, 通过激光熔覆技术在 H13 钢制备新型的高熵合金/陶瓷复合涂层, 该涂层由 FCC 基体和未熔化的 WC 颗粒、共晶 Laves 相和纳米级的(Mo)NbC 相组成, 研究了不同 WC 含量的复合涂层在 600°C 和 800°C 的高温摩擦磨损行为, 发现具有高比例 WC 含量的复合涂层在高温干摩擦条件下具有优异的耐磨性。并且发现含有 WC 的复合涂层的腐蚀速率远低于高熵合金涂层, 并且随着 WC 含量的增加, 复合涂层的腐蚀速率显著降低。WC 陶瓷相有利于增加高熵合金复合涂层在高温熔融铝液中的抗腐蚀能力。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-157157: 电刷镀锌镍合金镀层对高强钢抗氢脆性能研究

He Xiao Wang¹, Yang Xu², Yujiang Wang¹, Shicheng Wei¹, Bo Wang¹, Jian Zhi Chen²

¹ State Key Laboratory of Remanufacturing Technology, Armored Forces Academy of the PLA

² Jiangsu University of Science and Technology

高强钢广泛应用于高端装备领域，但氢脆问题严重制约其安全性与应用拓展，传统防护镀层难以兼顾防腐与抗氢脆需求。电刷镀锌镍合金镀层因优异耐腐蚀性、潜在抗氢脆特性及低温工艺减氢优势，成为高强钢防护新方向，其研究兼具工业刚需与学术价值。此前研究存在机理分析不系统、工艺适配性研究不足及缺乏实际工况验证等空白，亟待开展针对性研究。

本研究旨在系统探究电刷镀锌镍合金镀层调控高强钢氢吸附与扩散的微观机理，明确镀层成分、工艺参数与抗氢脆性能的关联规律，优化工艺并验证镀层在复杂服役环境下的长期稳定性，为高强钢提供“防腐-抗氢脆”一体化防护技术方案，突破其应用瓶颈以保障高端装备安全，同时填补相关领域理论与技术空白，为同类氢敏感材料的表面防护研究提供科学依据与实践参考。该研究的研究方法围绕电刷镀锌镍合金镀层对高强钢抗氢脆性能的系统探究展开，先对高强钢试样进行预处理后，通过调控电刷镀工艺参数和镀液成分，制备不同镍含量、厚度的锌镍合金镀层；随后结合慢应变率拉伸试验评价抗氢脆效果，通过电化学氢渗透测试分析氢含量与扩散规律，同时搭配盐雾试验、划痕试验验证镀层防腐性与结合力；再利用扫描电子显微镜、X 射线衍射、电化学测试等手段进行微观表征与机理分析，结合断口观察揭示镀层抑制氢脆的内在机制；最后通过正交试验等方法筛选最优镀层成分与工艺参数，建立工艺与性能的关联模型，完成工艺优化与验证。

该研究目前主要结果如下：一是针对常规的锌镍合金镀液体系进行优化，配制了硫酸锌-镍-柠檬酸盐镀液体系，成功制备了锌镍合金镀层，并研究了电刷镀工作电压对镀层成型质量的调控效果。与此同时，在锌镍镀液体系中加入柠檬酸盐，有效降低了毒性、析氢副反应，丰富了锌镍合金镀液体系的研究；二是重点探讨了当 Ni 摩尔比为 30%、镀液温度为 20°C、工作电压为 8-9 V 时，可获得镍含量约 9.15%、具有均匀细晶结构的致密镀层，表现出最优的耐腐蚀性能。三是通过电化学、氢渗透、慢应力拉伸以及各种表征手段对对 300M 高强钢基底材料的氢脆性能进行研究，充氢会促进钢材表面阻碍氢的吸附与扩散，同时促进氢致裂纹的萌生与扩展，断口韧性断裂特征更明显。目前的研究结果以证实镍含量 10%-15% 为镀层抗氢脆的最优成分区间；通过调控电刷镀工艺参数可实现镀层性能优化；充氢会提高钢材的氢脆敏感性。这后续对高强钢“防腐-抗氢脆”系统的研究打下基础。该研究成果填补了电刷镀锌镍合金镀层抗氢脆机理及工艺适配性的研究空白，可直接应用于航空航天、汽车等领域高强钢构件的表面防护，具有重要的工业应用价值。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-140543: 调制周期对 WS₂-DLC/DLC 多层涂层的协同润滑机制的影响

Zhiqi Feng

¹ State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

本研究通过非平衡磁控溅射技术制备了不同调制周期（N12–N192）的 WS₂-DLC/DLC 多层涂层，系统探究了调制周期对其微观结构、力学性能及摩擦学行为的调控机制。结果表明，减小调制周期可抑制 WS₂晶粒异常长大，形成致密纳米层状结构，并通过界面应力匹配优化涂层弹性恢复能力。N96 涂层综合力学性能最优，硬度（87.99 GPa）与弹性模量（6.78 GPa）显著高于低周期组（N12: 68.87 GPa/4.49 GPa），且 H/E（0.0770）和 H³/E²（0.0402）比值最高，赋予其卓越抗塑性变形能力，界面应力匹配减少局部塑性积累（H³/E²提升 110%）。室温下 N96 实现超低稳定摩擦（ $\mu=0.096$ ）和最低磨损率（ $2.22\times10^{-5} \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），归因于 DLC 相支撑的弹性主导响应及 WS₂动态重组形成的润滑转移膜。高温（400℃）下 N192 表现最优（ $\mu=0.103$ ，磨损率 $6.43\times10^{-5} \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ），其超薄周期结构（13 nm/层）通过 DLC 抗氧化屏障效应和 WS₂摩擦化学有序化，抑制 WO₃生成，维持润滑相稳定性。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-158818: 轻质合金微弧氧化表面多功能复合涂层的设计策略

Guoqing Wang

¹ NJFU

本研究聚焦于钛合金、镁合金及铝合金三类轻质合金材料的表面功能化改性，系统构建了三种微弧氧化（MAO）基复合涂层体系：通过 MAO 与化学气相沉积（CVD）金刚石涂层的复合，显著提升了钛合金的承载能力与摩擦学性能，摩擦系数由 0.8 降至 0.5，磨损率降低约 45%；通过 MAO 与 MXene 纳米片的复合，在镁合金表面实现了摩擦学性能、耐腐蚀性及生物相容性的协同提升；通过 MAO 与等离子体增强化学气相沉积（PECVD）制备的 SiCO_x 涂层复合，使铝合金表面呈现超疏水特性，并显著提高了其耐磨性与耐腐蚀性。结合分子动力学模拟，从原子尺度揭示了涂层对界面应变分布的均匀化作用与强化机制。本研究为发展面向苛刻工况与生物医学应用的多功能轻合金表面涂层提供了新的设计策略与理论支撑。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154814: 金属表面薄膜层结构及耐蚀性演化的电化学阻抗谱表征技术

Long HAO, Chuang QIAO, Youzhi Wang, Wei KE

¹ Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, China

金属表面自发形成的或人工构筑的耐蚀防护膜层是保护基体免于腐蚀的第一道屏障，针对其物理结构和耐蚀性的研究一直以来备受青睐。总体而言，通过多种物理表征手段可直接获取膜层的厚度、晶格、缺陷等结构信息。然而，考虑到材料基体组成的多元性，以及表面膜层成分和结构的复杂性，上述手段仍难以实现对氧化物膜层整体结构的定量表征。电化学阻抗谱（EIS）源于稳态界面对微小扰动的频率响应，膜层结构及理化性质的变化将在不同的频率域内引发阻抗信号的改变。从膜层物理性质考虑，可认为膜层的阻抗响应源于电阻率（ ρ ）在其深度方向的不均匀分布。基于此思想建立阻抗模型可对 EIS 数据进行深度解析，获得膜层厚度（ δ ）、纵向电阻率分布（ $\rho(\delta)$ ），并由此定量计算膜层中致密内层厚度（ δ_{inner} ），评估膜层深度方向上的缺陷密度、电位分布等。

本文详细阐述了金属膜层阻抗模型的物理来源和数学推导，并结合锡基无铅焊料、稀土轴承钢、镀锡钢板等材料，分别展示了该模型在不同膜层体系的应用和解析结果。研究表明，使用串联的（RC）电路，并向电路元件赋予局部电导率和厚度等物理参数，可构建针对金属表面耐蚀膜层的 EIS 模型；为实现对材料表面各类耐蚀膜层阻抗信号的深度解析，需根据膜层的物理特征及其阻抗响应，对 EIS 模型做相应的数学变换；模型解析结果与膜层物理表征结果吻合良好，使用模型解析 EIS 数据可定量获取与膜层耐蚀性相关的结构参数（厚度、电阻率分布、致密内层厚度等），在监测膜层腐蚀失效、阐明膜层耐蚀机理、指导材料耐蚀设计以及预测膜层失效等方面具有重要意义。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Session 4. 新能源涂层

sciforum-154465: A novel nanometer-thick nanocrystalline CeO₂ coating achieving high hydrogen permeation barrier performance

HUAYU YANG, Heping Li

¹ State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, P. R China

Hydrogen isotopes are ideally clean and renewable energy sources in the future. However, hydrogen embrittlement is a serious issue faced by the structural metal materials in hydrogen infrastructures. Developing protective coatings as efficient hydrogen permeation barriers is a challenge but an urgent need. Herein, a new nanocrystalline CeO₂ coating with its thickness of ~40 nm was successfully fabricated via the coordination-assisted deposition method. By optimizing the annealing condition, the resultant CeO₂ coating has a uniform and dense structure, with a high density of atomic-scale dislocations inside. Its hydrogen permeation barrier performance was evaluated by gas-driven deuterium permeation test, achieving an ultra-low permeability of $1.64 \times 10^{-15} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1/2}$ at 500°C, three orders of magnitude lower than the stainless steel. The corresponding hydrogen permeation reduction factor (PRF) reaches an ultrahigh value of 2355, which is 4 ~ 75 times that of the other oxide materials such as ZrO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, and Er₂O₃. The dense dislocation-contained nanocrystalline structure not only provides abundant hydrogen-traps but also prolongs the diffusion pathway to effectively impede hydrogen permeation. The hydrogen diffusion mechanism is further revealed by first-principles calculations. This study indicates the great potential of CeO₂ as a new type of hydrogen resistant material and also offer a guideline for the design of nanometer-thick hydrogen permeation barriers with high performance.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154467: Amorphous (ErAlCrZrTi)O High-Entropy Nanofilms for Highly Efficient Hydrogen Embrittlement Prevention

Shao jie Mo, Heping Li

¹ Huazhong University of Science and Technology

Hydrogen embrittlement in metals seriously threatens the safe and durable operation of hydrogen energy. Developing efficient and robust hydrogen barriers is a viable solution to solve this issue but remains a significant challenge. An amorphous (ErAlCrZrTi)O high-entropy nanofilm was successfully fabricated via sol-gel on steel and identified as highly efficient and robust hydrogen barrier. At 270 nm thickness, the nanofilm achieves ultra-low hydrogen permeability of $1.35 \times 10^{-15} \text{ mol m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-0.5}$, enhancing hydrogen resistance by 2738 times at 500 °C compared with that of bare steel. Compared to Er_2O_3 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , and ZrO_2 , it improves hydrogen resistance by 5, 11, 26, and 90 times, respectively. Moreover, such a high hydrogen resistance can be satisfyingly retained even after the (ErAlCrZrTi)O nanofilm suffering 10 dpa irradiation. The nanofilm exhibits 37 MPa bonding strength and exceptional thermal shock resistance, attributed to the formation of Cr_2O_3 transition layer via precipitation and oxidation of Cr from the substrate during annealing. It strengthens adhesion and alleviates thermal expansion mismatch with the substrate. The mechanism for the high barrier efficiency is further revealed by our theoretical calculations. These results provide tremendous insights on the understanding and future design of high-performance hydrogen barriers for hydrogen embrittlement prevention.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154621: Fe-Al/Al₂O₃ 阻氙涂层的制备及氙渗透行为研究

Hongtao Huang¹, Bin Luo², Shijian Lin¹, Yongjin Wu¹

¹ Sun Yat-sen University

² Sun Yat-Sen University

氙与氙易于在聚变堆内部件中渗透，Fe-Al/Al₂O₃ 复合涂层可以有效阻碍氢同位素的渗透行为。然而，许多 Fe-Al/Al₂O₃ 涂层的制备工艺中的温度较高，会对基体 316L 不锈钢造成影响。本文采用了 700°C 以下的低温制备工艺，使用包埋渗铝法、热处理、原位氧化法制备 Fe-Al/Al₂O₃ 涂层。渗铝层在热处理过程中由高铝相 Fe₂Al₅ 与 FeAl₃ 逐渐转化为低铝相 FeAl 与 Fe₃Al，与 650°C 渗铝相比，600°C 渗铝制备的渗铝层更薄，所需热处理时间更短。在 700°C 纯 O₂ 条件下氧化 10h 与 24h 得到的氧化层厚度为 87nm 与 131nm。氧化层具有多晶 γ-Al₂O₃ 夹杂非晶 Al₂O₃ 的微观结构。600°C 渗铝、700°C 纯 O₂ 条件下氧化 24h 样品的阻氙性能最好，在 450°C-600°C 的 PRF 值高于 5000。PRF 值随着氙渗透温度的升高而升高，原因是基体在高温环境下的氙渗透率大幅上升，而涂层样品的氙渗透率受高温的影响相对较小，涂层的耐高温阻氙性能源于该微观结构的 Al₂O₃ 层的高致密性。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-137923: TiAlN、Al₂O₃/Fe-Al 涂层的耐 LBE 腐蚀性能研究

Lilong Pang

¹ Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences

液态铅铋（LBE）冷却反应堆具有广阔的应用前景，是最具发展潜力的第四代先进反应堆型之一。堆内构件长期在强中子辐照、高温 LBE 腐蚀等极端环境条件下服役，构件材料会发生微结构变化与宏观性能恶化进而影响反应堆的运行安全。如何有效提高材料的防腐蚀抗辐照性能成为迫切需要解决的关键问题。在本研究中，我们设计研发适用于高温 LBE 环境的防护涂层。通过阴极弧镀膜技术制备了具有纳米晶结构的 TiAlN 涂层，利用载能 N 离子束对其进行辐照，研究了涂层耐辐照性能以及辐照后的耐 LBE 腐蚀性能，结果表明纳米晶界对涂层的抗辐照性起到重要的作用，辐照后涂层出现一定的软化现象，但仍然具有优异的耐 LBE 腐蚀性能。通过离子液镀结合热处理技术在不锈钢表面制备了 Al₂O₃/Fe-Al 梯度涂层，在 600°C 高温 LBE 中腐蚀后，涂层很好的保护了基底材料，显示出优异的耐高温 LBE 腐蚀性能。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-140240: 一种阻燃辐射制冷涂层的制备及性能研究

Weiyl Xing

¹ University of Science and Technology of China

随着生活水平提高,人们对室内舒适度的需求增加,但建筑空调系统能耗巨大,其温室气体排放占全球约 10%,加剧了全球变暖。由于白天降温需求更高,亟需开发低能耗或零能耗的日间室内温度调节技术。被动式日间辐射冷却技术因其利用高反射率和高发射率来最大限度减少太阳光的吸收,并将热量以电磁波的形式辐射到外太空,被认为是实现低能耗或零能耗调节室内温度的有效手段。首先,研究人员普遍采用多孔结构来实现紫外-近红外波段的高反射率。Cui 和 Yan 等人开发了一种反射率高达 85.4 %、发射率高达 96.3 %的微孔聚合物涂层[1]。Zhang 和 Yang 等人则利用牺牲模板法制备了一种具有极高发射率的多孔聚二甲基硅氧烷薄膜[2]。Mandal 和 Fu 等人制备了一种具有分级多孔结构的 PVDF-HFP 薄膜,采用相转换法,具有制备过程简单、可调节孔隙率及优异的光学性能等优势[3]。其次,有机制冷材料存在易燃风险,因此提升其阻燃性至关重要。PVDF-HFP 因其出色的稳定性、卓越的安全性以及广泛的应用范围,在辐射制冷领域展现出了显著的优势和巨大的应用潜力。同时,二乙基次膦酸铝(ADP)作为一种环境友好型阻燃剂,因其高磷含量,既可以单独作为阻燃剂,也可以与其他阻燃剂协同使用,以增强阻燃效果。Tang 和周等人研发的硬质聚氨酯泡沫/二乙基次膦酸铝复合材料,充分展示了 ADP 在提升材料消防安全性能方面的潜力[4]。此外,对 ADP 粉末进行的光学性能测试揭示了一个令人惊喜的发现:ADP 在 11.4 μm (P-O 的振动峰)和 8.3 μm (P=O 的伸缩振动峰)的吸收峰与大气窗口相重叠。加之 ADP 粉末的米氏散射特性和超白颜色,使得 ADP 粉末兼具高反射率和发射率,使得 ADP 粉末成为建筑辐射制冷领域的理想选择。本研究采用了非溶剂诱导相分离 NIPS 技术,将二乙基次膦酸铝(ADP)和 PVDF-HFP 结合制备薄膜。该薄膜利用其分级多孔结构和 C-C、F-C-F、P-O、P=O 键的振动特性,实现了优异的太阳光反射率与中红外发射率,有效进行日间辐射制冷。同时,ADP 的加入显著降低了薄膜在燃烧时的热释放峰值,提升了消防安全性能。这种简便的制备工艺,结合其优异的阻燃性和光学性能,推动了辐射制冷材料的实用化,为日间辐射制冷材料提供了一种高效简便的新方法。

为解决有机制冷材料易燃的问题,本研究制备了兼具阻燃性与高反射性的 10% ADP/PVDF-HFP 薄膜(图 1a)。扫描电子显微镜(SEM)清晰地显示了 xADP/PVDF-HFP 的横截面形态。含有 10%ADP 的 PVDF-HFP 薄膜展现出明显的梯度孔径,且 ADP 在 PVDF-HFP 薄膜中均匀分布。通过 Mapping 元素分析 10% ADP/PVDF-HFP 的元素分布表征(图 1c),P 和 Al 元素的均匀分布进一步证实了 ADP 在 PVDF-HFP 中的均匀分散。

xADP/PVDF-HFP 的太阳反射率测试(图 2a)显示,ADP/PVDF-HFP 的平均反射率为 93%,添加 10%ADP 粉末后薄膜的反射率升至 97.4%。xADP/PVDF-HFP 的发射率测试(图 2b)显示,ADP/PVDF-HFP 的平均发射率为 97.4%,添加 10%ADP 粉末后薄膜的发射率为 95.7%,证实了添加 ADP 提升了薄膜的光谱选择性。在夏季(7 月)户外测试中(图 2c, d),薄膜展现优异制冷性能。在白天(8:00-16:00),10%ADP/PVDF-HFP 与纯样的平均温差为-4.6 $^{\circ}\text{C}$ 。

本研究成功开发了一种具有卓越光学性能的阻燃型 PVDF-HFP 薄膜,这种材料不仅提升了消防安全性能,还有效减少了建筑制冷的能耗。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-157287: 多孔泡沫炭表面电磁屏蔽涂层的设计与制备

Heguang Liu

¹ Xi'an University of Technology

先进电子设备激增所导致的电磁干扰与污染问题日益严重，这使得电磁干扰屏蔽材料近年来备受关注。碳泡沫作为一种典型的多孔碳材料，因其轻质、高孔隙率、柔性、良好的加工性及环境可持续性，显示出作为新一代电磁干扰屏蔽材料的巨大潜力。然而，碳泡沫内部的碳原子排列高度无序，导致其本征导电性相对较低，因而其屏蔽效能无法满足商用电磁干扰材料的标准。为此，我们提出了一种层级结构工程策略，以构建具有高屏蔽效能的碳泡沫复合材料。具体而言，通过将铁钴纳米颗粒与碳层同步集成到碳泡沫基质中，以调控其磁特性与导电性。结果表明，所制备的碳包覆铁钴/碳泡沫复合材料在 X 波段的屏蔽效能达到了 24 dB，与原始碳泡沫相比显著提升了 240%。同时，该复合材料还展现出优异的柔韧性、焦耳热效应及疏水性等多功能特性。本研究为多孔结构表面电磁屏蔽涂层的构建提供了一种简便有效的制备路径。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154667: 模拟月壤微波烧结体冷却过程中表层热应力与组织结构研究 Thermal Stress Evolution and Microstructural Development in Simulated Lunar Regolith during Microwave Sintering and Cooling

Qiang Wei¹, Zhenhua Xi²

¹ Hebei university of technology

² Hebei University of Technology

微波烧结技术因其能量利用高效、加热方式独特，被视作月球基地原位资源利用中最具前景的表面建造技术之一。然而，月表极端低温环境与烧结体表层高温之间，存在上千度的瞬态温度梯度。伴随着冷却过程，烧结体表层产生显著热应力，导致形成表层宏观裂纹，甚至整体结构失效，严重制约该技术的工程可行性。为评估月壤烧结体表层完整性并确定微波烧结安全工艺窗口，本文构建电磁-热-应力多物理场耦合计算仿真模型，系统模拟了冷却过程中的烧结体温度场与表面热应力演化，探究烧结体表面完整条件下临界冷却速率的范围。同时，在地面环境物理试验中，模拟月壤经压坯、烧结和不同冷却条件进一步验证仿真模拟结果。采用扫描电子显微镜观察烧结体表面形貌，并结合 X 射线衍射和 XPS 光电子能谱等分析方法，揭示烧结体表面组织结构和化学组成。本研究所获得的月壤烧结体的临界冷却速率、微观组织与成分、以及表层热应力演化规律，将为月球原位资源利用提供基础数据支持。

Microwave sintering technology is regarded as one of the most promising surface construction techniques for in-situ resource utilization in lunar bases due to its high energy efficiency and unique heating mechanism. However, the extreme cryogenic environment on the lunar surface creates a transient temperature gradient of over a thousand degrees Celsius between the sintered body's surface and its interior. During the cooling process, significant thermal stress develops on the sintered surface, leading to macroscopic surface cracks and even structural failure, which severely constrains the engineering feasibility of this technology. To evaluate the surface integrity of lunar regolith sintered bodies and determine the safe processing window for microwave sintering, this study establishes a multiphysics computational model coupling electromagnetic, thermal, and stress fields. We systematically simulate the temperature field evolution and surface thermal stress development during cooling, investigating the critical cooling rate range that ensures surface integrity. Ground-based physical experiments involving compaction, sintering, and controlled cooling of lunar regolith simulants further validate the simulation results. The surface morphology of sintered specimens is characterized using scanning electron microscopy, while phase composition and chemical states are analyzed through X-ray diffraction and X-ray photoelectron spectroscopy. The critical cooling rates, microstructural characteristics, compositional data, and thermal stress evolution patterns obtained in this research will provide fundamental data support for lunar in-situ resource utilization.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-152539: 用于光热调控材料的先进涂层技术

Rufan Zhang

¹ Tsinghua University

涂层技术在现代社会有着广泛的应用，它们对于实现材料的表面功能化和高性能化具有非常关键的作用。本报告主要介绍先进涂层技术在光热调控材料领域的应用及其重要作用，比如，碳纳米管纤维的结构致色、阻燃性能提升、光致发光、电致变色、电致发光以及辐射制冷薄膜和涂料的可控制备与应用等。相关工作相继发表在 *Nature Sustainability*、*Nature Communications*、*Science Advances*、*Advanced Materials*、*ACS Nano*、*Nano Letters*、*Advanced Optical Materials* 等期刊上。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-153526: 耐蚀耐磨阻氢多功能纳米复合陶瓷涂层及涂料

Tao Zhang

¹ 广州大学, 物理与材料科学学院

我国东南沿海地区地处亚热带季风气候区, 常年高温、高湿、高盐雾, 年平均相对湿度超过 80%, 盐雾沉降量达 $0.3-1.5 \text{ mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$, 造成沿海服役钢构件等严重腐蚀, 导致其寿命缩短至常规环境的 30%-50%。深海中设备除了承受海水腐蚀和磨蚀, 由于水压的存在还会导致在金属材料中有渗氢行为发生, 引起材料氢脆。氢能快速发展急需解决氢能的储运问题, 而高压储氢因其设备结构简单、充装速度快等优点, 是目前工业应用中占主导地位的储氢方式, 但高压氢环境引起的材料塑性降低、疲劳裂纹扩展速率加快等氢脆问题, 是目前高压氢系统安全面临的巨大挑战; 另一方面, 我国先进核能发展中, 新型反应堆容器也面临氢渗透导致堆容器部件氢脆问题。氢渗透会导致材料的诸多性能变差, 不仅会造成原料的损耗, 还会引发基体材料出现“氢脆”等问题, 更严重的情况下会造成放射性污染。目前的防腐涂层基本是有机涂层和镀锌涂层, 其极端环境下很容易老化脱落, 运维成本很高; 而阻氢涂层基本都是氧化铝及其复合物, 而且主要是制备方法包埋渗铝法、磁控溅射法、热喷涂方法, 需要大型设备高温环境, 工艺复杂成本高, 而耐磨性能不足, 很难规模化满足工程应用需求。陶瓷涂层基于纳米材料制备, 具有高硬度、耐候性强、致密性高、化学惰性、无气味无污染等特点, 是新一代防腐阻氢涂层发展方向。因此亟需发展可以工程应用的既具体阻氢性能又非常好的耐腐蚀耐磨性能还要工艺简单低成本多功能陶瓷涂层。

本工作突破耐磨-耐蚀性-经济性的协同优化瓶颈, 设计制备出耐蚀耐磨复合纳米陶瓷涂层材料; 发展出规模化低成本室温喷涂涂覆工艺和短时间高温热处理工艺, 实现复杂、大尺寸构件批量高质量涂覆和处理; 涂层性能指标: 厚度, 30-50 微米 (为环氧涂层厚度的十分之一); 耐蚀性, 5%浓度, 35°C 盐雾腐蚀 1000h 无损伤; 表面平整度, 加强级, 针孔数 $\leq 1/\text{m}^2$; 硬度, 显微硬度 $\sim 580\text{Hv}$, 表面纳米硬度 $\sim 7\text{GPa}$; 附着力, $\geq 60\text{MPa}$ (拉拔法测试, 为环氧涂层结合力 3 倍); $\geq 50 \text{ N}$ (划痕法测试); 耐磨性能, 同等测试条件下, 摩擦系数 $\sim 316\text{L}$ 不锈钢的 90%, 摩擦磨损率为 316L 不锈钢的 120%; 阻氢性能: 1MPa , 室温下 $\text{PRF} > 10^4$, $650^\circ\text{C} > 10^3$ 高于已有的涂层阻氢因子。涂层适用于金属结构材料防腐、核能装置阻氢和输氢输气管道阻氢功能。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154871: 高浓度有机染料废水的摩擦催化治理研究

Wanping Chen

¹ Wuhan University

有机染料废水的治理对于环境保护具有重要意义。虽然光催化降解是治理有机染料废水的一种理想方法，但其效果随着有机染料浓度的增加、废水透明度的下降而迅速下降。而机械催化因为不受废水透明度的影响，对于高浓度有机染料废水的治理具有显著优势。本报告将介绍我们最近几年对于高浓度有机染料废水摩擦催化治理的研究结果。通过采用磁力转盘、各种材料的涂层材料，我们实现了在小功率的磁力搅拌条件下对于高浓度有机染料（RhB:50 mg/L,MO: 30 mg/L）的快速降解。摩擦催化对于环境治理具有巨大的发展前景。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Session 5. 生物与生医涂层

sciforum-154906: 一种基于自组装涂层的生物矿化评价新方法

James Kit Hon Tsoi

¹ Faculty of Dentistry, The University of Hong Kong, HongKong, China

多年来，研究人员使用模拟体液 (SBF) 浸泡法来评估生物材料的生物活性。该方法被采用为 ISO 23317 中的方法，该方法专门用于植入材料的初步筛选，通过评估材料表面的磷灰石形成情况。然而，一些材料，例如可注射生物活性玻璃树脂，已经在体内和临床上表现出骨形成能力，但在 SBF 测试中失败。因此，在本研究中，我们评估了用其他浸泡介质，即 Hank 平衡盐溶液 (HBSS)、细胞培养基 (MEM) 和我们开发的人工再矿化促进液 (SHARP) 浸泡含生物活性玻璃 (45S5, 0、1.9、3.8 和 7.7 vol%) 的树脂 3、7 和 14 天。用 ICP-OES 和 pH 分析溶液，用 SEM、XRD 和 FTIR 分析表面。HBSS 和 MEM 可在 14 天后促进磷酸八钙 (OCP) 的形成，而 SHARP 溶液则能保持稳定的 pH 值，并使第 3 天形成的 OCP 分别在 7 天和 14 天后自组装成碳酸羟基磷灰石 (CHA) 涂层。进一步使用 MC3T3 前成骨细胞和生物活性玻璃树脂上的变形链球菌生物膜进行骨细胞反应研究，结果表明，这种自组装 CHA 涂层对于细胞生长和抗生物膜形成至关重要。因此，SHARP 溶液是一种更灵敏的浸没溶液，可以准确评估新型植入材料的生物反应。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-156980: 抗脱矿仿生釉质涂层及其正畸应用

Shiyun Peng¹, Ting Sang², Zhou Ye³

¹ Affiliated Stomatological Hospital of Nanchang University

² The Second Affiliated Hospital of the Chinese University of Hong Kong

³ The University of Hong Kong

白斑病变（White spot lesions, WSLs）和牙釉质裂纹是正畸治疗过程中最常见的两类问题。这两种疾病分别源于细菌生物膜堆积导致的牙釉质脱矿，以及在托槽脱粘后去除残余粘接剂时对牙釉质造成的损伤。受牙釉质中自组装成丝带状的成釉蛋白（amelogenin nanoribbons）启发，我们开发了一种含有自组装抗菌肽（AMP）D-GL13K 的牙釉质涂层，能够同时减少脱矿与残余粘接剂。这种自组装的两亲性纳米带显著提高了酸蚀后牙釉质的疏水性，从而增强了涂层表面对液体的阻渗性能。通过菌落形成单位（CFU）计数法和活/死菌染色法评估其对变形链球菌（*Streptococcus mutans*）的抗菌活性。其抗脱矿效果则通过光学相干断层扫描（OCT）分析的脱矿深度减小以及维氏硬度（Vickers hardness）的提高得以证明。在托槽脱粘测试中，该涂层并未影响剪切粘结强度（SBS），但显著降低了粘接剂残留指数（ARI）评分。这种仿生牙釉质涂层有望为正畸治疗后预防白斑病变和牙釉质裂纹提供一种新的策略。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154481: Bio-based Flame-retardant Coatings for Wood Protection

Xinyuan Lian, Jun Jiang

¹ Nanjing Forestry University

Enhancing the flame retardancy of wood materials is crucial for ensuring safety while maintaining their advantages as green and renewable resources in widespread daily applications. The development of bio-based flame-retardant coatings presents an eco-friendly alternative to conventional petroleum-derived counterparts, effectively reducing reliance on fossil-based resources while significantly improving fire resistance, thermal stability, and smoke suppression properties in wood products. This comprehensive review systematically summarizes recent advances in bio-derived flame retardant coatings utilizing various natural components, including phytic acid, chitosan, tannins, lignin, vanillin, and others. We provide an in-depth analysis of the underlying flame-retardant mechanisms and structure-property relationships. Furthermore, the opportunities and challenges in optimizing bio-based flame-retardant coatings for practical applications are also prospected. We hope the review can provide insight related to green and eco-friendly materials to environmental sustainability, which could promote the development of a circular green economy.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-141503: Oral Administrated Nanomedicines for Hepatocellular Carcinoma Therapy: The Case of Hydrogel Encapsulated Au@CoFeB-Rg3 Nanodrugs

Yujun Song¹, Qiong Wu²

¹ Center for Modern Physical Technology, School of Mathematics and Physics, University of Science and Technology Beijing, Beijing, 100083, China

² Fundation Science Education Center, Hangzhou City University, Hangzhou, 310015, China

Hydrogel coated nanomedicine capsule (HCNMCs) using a dynamic multi-crosslinking strategy was developed by synergistically integrating covalent bonding, hydrogen bonding, and ionic crosslinking to achieve hierarchical release programming using Au@CoFeB-Rg3 as model nanomedicines for oral administration. The hydrogel encapsulated Au@CoFeB-Rg3 enables spatiotemporally controlled gastric protection-intestinal activation release via pH-responsive hydrogel contraction/switching. For this goal, a single-step capsule formation process was invented here to encapsulate the model nanomedicine, which can reduce production costs, establishing a translatable platform that overcomes multi-layered gastrointestinal barriers for precision hepatocellular carcinoma therapy. Results of in vitro and in vivo evaluations against hepatocellular carcinoma using this oral type nanodrugs revealed dose-dependent antitumor efficacy and medium oral doses (60 mg/kg) that outperformed low-dose intravenous administration in tumor suppression while minimizing hepatic accumulation. Dual-mode imaging elucidated spatiotemporal nanoparticle internalization dynamics during cellular uptake, providing unprecedented mechanistic insights. Orthotopic HCC models confirmed reduced hepatic accumulation and absent hepatotoxicity via serum histopathological analyses. Biosafety assessments also affirmed the systemic biocompatibility of this kind of oral administrated nanodrugs. This new platform developed here simultaneously resolves gastric stability, intestinal release precision, and scalable manufacturing challenges, advancing clinical oral nanomedicine delivery.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-149718: Size-Engineered Magnetite Nanoparticle Coatings for Sustainable Crop Disease Management: A Dual-Protection Approach

Yu Shen¹, Mengmeng Kong², Xiaoyong Liu²

¹ Nanjing Forestry University

² University of Jinan

Plant diseases cause 10-23% of global crop losses annually, while conventional fungicides face increasing resistance development and environmental concerns. This study demonstrates the development of size-controlled Fe₃O₄ nanoparticle coatings (5 nm and 10 nm) that provide dual protection against fungal pathogens through novel coating mechanisms. The nanoparticles form crystalline iron plaque coatings on plant root surfaces, with 5 nm particles creating more uniform and dense coatings containing 15.7% iron content compared to 5.9% from ionic iron treatments. Size-dependent antifungal efficacy was observed, with 5 nm coatings achieving superior performance (EC₅₀ = 6.3-8.84 mg/L) compared to 10 nm coatings (EC₅₀ = 13.8 mg/L) due to enhanced surface reactivity and dissolution kinetics. The coating technology operates through dual mechanisms: direct pathogen suppression via reactive oxygen species generation and membrane disruption, and indirect plant immunity enhancement through activation of salicylic acid and jasmonic acid defense pathways. Agricultural validation on tomato against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and rice against *Fusarium graminearum* demonstrated 62.9-82.7% disease control at environmentally relevant concentrations (0.5-1.0 mg/L), significantly outperforming conventional fungicides (typically 50-70% efficacy). The functional coatings simultaneously promoted plant growth while providing pathogen protection, with hormone modulation studies revealing 3.5-fold increases in salicylic acid and 8.9-fold increases in ethylene levels. This coating technology represents a breakthrough in sustainable agriculture, offering environmentally compatible disease management with reduced chemical inputs and enhanced crop productivity through precisely engineered nanoscale surface interactions.



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154709: 口腔生物膜与碳毡电极之间生物界面上的电化学反应相互作用

Mengxiao Xu, Kit Hon Tsoi

¹ Department of Applied Oral Science, Faculty of Dentistry, The University of Hong Kong, Hong Kong, China

研究目标： 微生物生物膜与电极材料之间的界面在胞外电子转移（Extracellular Electron Transfer, EET）过程中发挥核心作用，有望实现电活性细菌代谢活动的实时监测。本研究旨在系统探讨口腔细菌生物膜作为碳毡电极涂层，与电极材料相互作用形成的生物界面电化学反应特性，重点剖析该微生物涂层如何通过 EET 促进电子交换。研究对象包括白色念珠菌（*Candida albicans*）、金黄色葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*）、索氏链球菌（*Streptococcus sobrinus*）和表皮葡萄球菌（*Staphylococcus epidermidis*）的生物膜涂层。通过研究这些相互作用，旨在定量评估代谢活性，优化材料与生物膜的协同效应，以提升微生物燃料电池（Microbial Fuel Cell, MFC）的性能，同时为病原菌代谢机制的阐释及相关生物传感器的开发奠定理论基础。

研究方法： 采用碳毡电极（长 20 毫米，宽 20 毫米，厚 5 毫米）作为基底材料，通过不同光学密度（OD = 0.1 和 0.5，波长 660 纳米）的细菌生物膜涂层构建交互界面。开路电压（Open Circuit Voltage, OCV）及循环伏安法（Cyclic Voltammetry, CV）在 H 型双室 MFC 系统中于 37°C 条件下连续监测 24 小时。电化学测试，包括 OCV, CV，在涂层后 0 小时、4 小时及 24 小时采用三电极系统进行，以动态评估生物膜与电极材料的电子相互作用。荧光显微镜技术用于记录碳毡纤维上生物膜涂层的附着形态。

研究结果： 不同细菌种类呈现出不同的 OCV 水平，反映了生物膜涂层界面上不同的 EET 效率。循环伏安法未检测到可逆氧化还原反应，提示电子转移可能通过直接接触或涂层与材料的生物界面间的电子转移实现。

研究结论： 碳毡电极上的生物膜涂层可以提供一种简便、无标记的分析手段，通过 EET 定量测定口腔病原菌的代谢活性。深入理解这些相互作用有助于优化抗生物膜策略、提升 MFC 能量输出，并揭示口腔病原菌的代谢特征及活性状态。未来研究需进一步阐明 EET 的分子机制，并优化涂层特性以推动其实用化应用。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154826: 快速胶原矿化策略改善牙本质粘接界面的研究

Xinyu Zhang, Xin Gao, Cui Huang, Hongye Yang

¹ 口腔系统重建与再生全国重点实验室, 武汉大学口腔医学(学)院

引言: 牙本质粘接界面的稳定性很大程度上决定了修复体的使用寿命。酸蚀-冲洗粘接系统难以形成完美的混合层, 这与胶原纤维过度暴露、粘接单体渗透不足有关[1]。因此, 探索适当的方法来保护牙本质胶原免受水解和酶解, 成为提高粘接耐久性的重要策略。牙本质胶原矿化因其仿生修复的理念引起学术界的广泛关注, 急需发展一种满足临床操作窗口的粘接前快速矿化策略。

材料与方法: 制备聚丙烯酸稳定的无定形氟化钙 (PAA-ACF) 矿化前体溶液; 采用冷冻透射电子显微镜、TEM、SEM 等观察 PAA-ACF 前体和矿化 1 分钟、10 分钟的重组 I 型胶原与脱矿牙本质; 利用原子力显微镜 (AFM)、XRD、FTIR、XPS 等表征再矿化牙本质的理化性能; 采用微拉伸测试、纳米渗漏测试、原位酶谱法、AFM 等检测快速矿化牙本质的粘接耐久性、混合层酶活性、表面形貌和机械性能; 采用 CCK-8 试剂盒、细胞骨架染色、活死细菌染色、MTT 测试等检测 PAA-ACF 的生物相容性和抗菌性能。

结果与讨论: PAA-ACF 处理 I 型胶原 1 分钟, 胶原形貌和矿物含量发生明显改变, 10 分钟达到完全纤维内矿化; PAA-ACF 处理脱矿牙本质 1 分钟和 10 分钟后, 其形貌有矿化改变, 理化性能表征显示生成氟化钙晶体、机械性能明显提高, 其中 10 分钟组的矿化现象更明显; 快速矿化组的粘接耐久性改善, 混合层酶活性降低, AFM 显示形成了更连续完整、弹性模量更高的混合层; PAA-ACF 具有良好的生物相容性和显著的抗菌性能。

结论: 本实验中, 我们首次将 PAA-ACF 应用到牙本质粘接前的快速矿化, 实现了临床操作时间内的粘接界面增强效果, 提出了“粘接前快速纤维内矿化”概念。PAA-ACF 快速矿化改善了牙本质粘接强度, 形成了连续完整的混合层, 为牙本质粘接耐久性的提高提供了具有临床实践意义的新方法。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Session 6. 光功能涂层

sciforum-154813: Low-k 材料激光开槽技术研究

Wei Han

¹ School of Physics and Optoelectronic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, China

low-k 材料（介电常数 <3.9 ）是超大规模集成电路（VLSI）互连结构的核心绝缘材料，在半导体高端芯片行业应用广泛，**low-k** 材料凭借低损耗、高绝缘性的优势，可有效降低芯片布线间的信号串扰与传输延迟，是 **14nm** 及以下先进制程实现“微型化、高集成度”的关键材料，广泛应用于高端芯片、射频器件及微波电路领域。随着摩尔线程达到 **14nm** 以后，**low-k** 材料的大规模应用，使得该材料的加工技术需求更加高效，加工品质需求更为严苛。目前，在半导体行业该材料的激光开槽历史已经有 **10** 多年，经过反复迭代更新改进，基本可以实现全自动上下料，全自动涂覆，全自动激光快速并行加工，全自动清洗，全自动下料。目前面临的主要问题是：

- 1) 材料本身机械强度低、易脆裂，机械接触加工易导致基板分层、沟槽边缘崩裂；
- 2) 热稳定性差，等离子蚀刻的高温环境会引发 **low-k** 材料介电常数漂移（变化率 $>10\%$ ），甚至导致多孔结构坍塌，纳秒激光的热影响会导致芯片出现大规模失效；
- 3) 先进制程对沟槽精度要求极高（尺寸偏差需 $<\pm 1\mu\text{m}$ 、槽底猫耳 $<1\mu\text{m}$ ，火山口高度 $<3\mu\text{m}$ ，侧向微裂纹 $<2\mu\text{m}$ ），传统机械化学和激光工艺难以满足以上加工需求；
- 4) 开槽去除 **low-k** 后，激光不可避免的需要加工到硅材料，大量硅粉的扩散使得加工难度变大，传统激光方式和激光加工无法避免良率下降；

因此，亟需一种非接触、低损伤、高精度的加工技术解决 **low-k** 材料的开槽难题，经过优化后的激光加工方案，解决材料的热影响、裂纹、分层等诸多问题。

本文针对上述问题，提出采用纳秒/皮秒 / 飞秒超短脉冲激光作为加工光源，利用“冷加工”机制（脉冲宽度 10^{-12} - 10^{-15}s ）实现材料光致分解去除，避免热量向周围扩散，从根源上减少热损伤；优先选用紫外波段激光（**355nm/266nm**），利用其对 **low-k** 材料的高吸收率，提升能量利用效率与加工精准度。实验过程中，采用经典的双窄线和双宽线方案（多宽线兼容），双窄线针对材料进行隔离和预处理后，多宽线光斑为整形后的平顶形态，或者 **M** 形态，**U** 形态，确保开槽后芯片后制程顺利进行。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-140313: 双光子光刻制备硅硼碳氮陶瓷表面微纳结构

Yanpei Dang¹, Haihui RUAN²

¹ The Hong Kong Polytechnic University

² Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, China

在极端环境中工作的表面微纳结构要求优异的机械强度，高温稳定性和化学稳定性。为最大限度提升微纳结构的服役温度，本研究报道了一种可打印的陶瓷前驱体，用于制备 **SiBCN** 微纳结构。该前驱体通过将丙烯酸酯基团接枝至聚硼硅氮烷分子链中（通过丙烯酸 2-异氰基乙酯与胺的亲核加成反应实现），显著提高了聚硼硅氮烷的光敏活性和交联程度，同时保证了较高的陶瓷产率（**76 wt.%**）。本文对制备的前驱体及其衍生陶瓷的元素组成与化学结构进行了系统表征，并根据热失重数据建立了热解动力学模型，揭示了聚合物-陶瓷转化过程是由扩散控制的成核生长机制。结合双光子光刻与热解工艺，该光敏前驱体可直接制备具有复杂形貌和亚微米特征（线宽约 **700 nm**）的 **SiBCN** 微纳结构。研究发现：在微观尺度下，热解过程中的收缩行为呈现各向异性且与表面积相关；所制备的 **SiBCN** 微柱表现出 **3.59 ± 0.08 GPa** 的超高抗压强度。基于以上表征，进一步探索了打印 **SiBCN** 微纳结构的潜在应用，包括用于微透镜阵列和结构色制备的高温压印模具。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-141705: 大型覆盖件模具激光表面淬火强化工艺与智能化装备

Mao Zhang

¹ Huazhong University of Science and Technology

大型覆盖件模具通常采用感应淬火、火焰淬火和激光淬火等工艺来提高模具的硬度和使用寿命，但现有技术存在模腔形变大、硬度分布不均匀、模具使用寿命低等问题，不能满足国产高端汽车发展对大型覆盖件模具制造精度和使用寿命的需求。为此，开展了大型覆盖件典型模具材料激光淬火基础工艺研究，获得了激光光斑尺寸—加热温度—加热时间等多因素对淬火层深、硬度及其均匀性的影响规律，研发了激光光斑宽度自适应调整技术、激光作用区温度闭环控制技术和模具激光淬火轨迹规划及编程技术等关键技术，研制了大型覆盖件模具激光淬火智能化装备并进行了示范应用。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154585: 无机荧光粉在近红外激光持续激发下产生近红外光现象的研究

Xiaodong Wang¹, Jianhong Wu², Pengfei Guo¹

¹ Taiyuan University of Technology

² Ningbo University Of Technology

近年来研究发现，由近红外光源驱动的超宽带连续谱白光是一种新型的上转换发光现象。其原理是依赖于特定非线性光学效应，使得近红外光可转化为覆盖紫外至近红外波段的连续光谱白光。此类光源具有显著优势：光谱范围极宽，可提供丰富的光谱信息；同时具备高亮度与良好稳定性，有助于获取高质量光学信号。然而，关于连续激光激发下白光产生的发射机制，目前学界尚未形成统一认识，其物理机理仍存争议。因此，系统剖析连续白光的发光机制，大力投入高性能白光材料的研发，深入挖掘潜在应用场景，对促进超宽带连续谱白光在实际领域的应用发展极为关键。在本文中我们制备了 $\text{Ln}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ ($\text{Ln} = \text{Er}^{3+}, \text{Nd}^{3+}, \text{Sm}^{3+}$) 荧光粉。在近红外 ($\lambda_{\text{ex}} = 980 \text{ nm}$) 连续激光激发下，我们对白光发射光谱的功率依赖性进行了深入研究，观测到在不同的激发功率密度条件下，类白炽灯宽带白光与温度之间呈现出极为显著的线性关联，这一现象充分凸显了温度对发射机制有着不容忽视的影响。同时，当激发功率密度逐步上升时，不同基体材料的发射光谱会发生明显变化，从具有特征的上转换 (UC) 发射峰逐渐演变为光滑连续的宽带光谱。但是，光强与温度值并非呈现绝对的相关关系。这些实验观测结果清晰地表明，光热协同效应在发射过程中扮演着关键角色。本研究成果对于研发适用于新型应用场景的小型化连续光源具有重要的指导意义，有望为相关领域的技术创新与发展提供有力支撑。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154538: 连续激光驱动下非线性光热超宽带发光的性能与光谱调控

Jianhong Wu

¹ School of Electronic and Information Engineering Ningbo University of Technology Ningbo 315000, China

超宽带发光因其宽光谱特性，在光谱分析、生物医学、光通信及精密测量等领域具有重要应用。开发兼具宽光谱、高亮度、长寿命和小型化的新型宽带光源是当前光电子领域的研究重点。基于全固态激发体系，通过连续激光激发光学活性介质并利用光热效应，可实现覆盖可见-红外波段（400-4000 nm）的超宽连续光谱发射，突破了传统连续谱光源的限制，具备优异的稳定性和小型化优势。我们从机理分析、光谱调控和应用开发三方面对其展开了系统研究：机理分析方面，先后引入 Er^{3+} 基原位温度探针，基于不同稀土掺杂荧光材料体系，论证了宽带发光的热增强非线性阶跃式发光特征，阐明了超宽带发光的热激励发光机制；光谱调控方面，设计了无序多孔纳米结构进行光场局域化，基于发光过程中非线性光热效应的调控，优化了宽带发光性能，先后实现了光强 25 倍和 100 倍的增强；应用开发方面，我们以此超宽带发光做为非线性超连续光源，先后实现了生物组织高清晰近红外成像、无损检测、分子检测等前沿应用，并探讨了其在光谱探测、传感等领域的应用潜力。该研究为高效光源开发、精密光谱学、太阳光模拟及医疗成像等领域提供了新光源方案。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154654: 铌合金表面微弧氧化-纳米粒子沉积 烧结 NbSi₂/Nb₂O₅-SiO₂/HfC-HfO₂ 复合涂层构建与高温 防护性能

永纯 邹, 志云 叶, 亚明 王, 树棋 王, 国梁 陈, 德昌 贾, 玉 周

¹ Harbin Institute of Technology

高温力学性能优异的铌合金可用于高超声速飞行器与火箭动力系统发动机热端部件, 但铌合金因其“Pest”效应导致高温抗氧化性能差, 严重限制了其工程应用。传统的硅化物涂层对提高铌合金抗氧化性能已达瓶颈, 且其表面发射率低, 抗烧蚀性能差。本文提出在铌合金包埋渗硅层表面通过微弧氧化纳米粒子同步沉积烧结技术一步构建 HfC-HfO₂ 改性硅化物基复合涂层, 协同提升铌合金的高温抗氧化、抗烧蚀和辐射散热性能。复合涂层主要由~120μm 厚的 NbSi₂ 涂层及~50μm 厚的 HfC-HfO₂ 粒子沉积烧结层组成。对比研究了复合涂层和单一 NbSi₂ 涂层在 1200°C 的高温氧化行为和等离子烧蚀行为。结果表明, 复合涂层在氧化 100h 后的氧化增重为 6.38 mg/cm², 仅为单一 NbSi₂ 涂层的~46%; 在等离子烧蚀 60s 后涂层表面仅有部分氧化层剥落, 而单一 NbSi₂ 涂层已完全失效导致基体熔穿。复合涂层中大量纳米陶瓷颗粒, 高温下形成了具有低氧扩散系数的 HfSiO₄-SiO₂ 骨架层, 抑制了铌氧化物的生长, 提高了氧化层的结构稳定性。此外, 复合涂层在室温下宽波段平均发射率高于 0.90。当温度升至 1200°C 时, 宽波段平均发射率仍保持~0.7 左右; 多相改性复合涂层在近红外具有高发射率, 归因于离子掺杂和陶瓷相的强振动吸收。综上, 在铌合金表面通过微弧诱导 HfC-HfO₂ 粒子沉积烧结成功制备了抗高温氧化/耐烧蚀/高发射率辐射热防护多功能防护涂层, 解决了铌合金在超高温下热承载温度不足、高温抗氧化性能已达瓶颈的问题。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Session 7. 表面防护涂层

sciforum-157124: GO/SiO₂ 协同改性环氧树脂复合涂层的制备及其耐蚀性能研究

申雪冰, 吕燕, 庞桂桂, 谷鑫捷, 杨凯喆, 雷安琪

¹ 唐山学院 新材料与化学工程学院

为了提升 Q235 碳钢的腐蚀防护性能, 采用硅烷偶联剂 KH550 将二氧化硅 (SiO₂) 与氧化石墨烯 (GO) 进行接枝交联, 并将其作为填料与环氧树脂复合后涂覆在 Q235 碳钢基材表面, 制得 GO/SiO₂ 改性环氧树脂复合涂层。通过 SEM 等方法表征改性前后的环氧树脂涂层, 通过电化学测试等方法探究改性前后环氧树脂涂层对碳钢的腐蚀防护性能。结果表明: 当 GO/SiO₂ 的质量分数为 0.6% 时, 复合环氧树脂涂层的防腐蚀性能优异; GO/SiO₂ 复合填料的引入有效增强了环氧树脂涂层对碳钢的防腐蚀性能。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-156580: 仿生超亲水界面稳态流体减阻涂层技术

Wufang Yang¹, Feng Zhou²

¹ State Key Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, China; Shandong Laboratory of Advanced Materials and Green Manufacturing at Yantai, Shandong Yantai, China;

² State Key Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences

界面现象在摩擦学、流体力学及材料科学等领域中发挥关键作用。特殊浸润性、粘附性、润滑性和边界滑移等相互耦合的界面行为，深刻影响着界面相互作用的能量耗散与服役性能。本研究围绕固-液界面的动态耦合作用，系统探讨了仿生超亲水界面在流体环境下的稳态减阻机制与界面稳定性调控策略。通过引入多尺度表面结构设计与溶胀梯度调控，构筑了具有长期稳定性和流场自适应调节能力的仿生涂层体系。该涂层可在流体剪切条件下形成稳态流体边界层，显著降低界面摩擦与流体阻力，实现固液界面超低摩擦与持久减阻性能。研究进一步揭示了界面动态浸润与边界滑移之间的热力学关联，为发展新型仿生稳态减阻材料提供了理论依据与技术支撑。该成果对推进海洋工程装备、流体传输系统及高效节能机械的长期防护与减阻具有重要意义。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-158178: 典型高熵合金涂层的表界面特性及调控

Junjun Wang

¹ Chongqing University of Technology, Chongqing, China

高熵合金 (HEAs) 自 2004 年问世以来备受关注。相较于传统合金, 其表现出高热稳定性及优异的抗氧化、耐磨损和耐腐蚀性能。随着高熵材料研究的发展, 高熵陶瓷 (HECs) 于 2015 年被提出, 标志着高熵概念由金属体系延伸至陶瓷领域。高熵陶瓷被定义为含不少于五种金属阳离子、各元素比例接近的单相固溶体, 可占据一个或多个 **Wyckoff** 位点。与高熵合金类似, 高熵陶瓷因高熵效应而呈现一系列独特性质, 如倾向于形成结构简单的单相固溶体、明显的晶格畸变及缓慢的动力学行为。高熵涂层材料继承了高熵体系的优异性能, 并在制备过程中表现出块体材料所不具备的快速淬火效应, 使得材料更为致密、元素分布更加均匀。然而, 其制备过程中涉及大量表界面调控问题, 这些问题直接影响涂层的最终性能, 目前仍是该领域的研究难点。本文围绕高熵涂层的可控制备与界面作用机制展开探讨, 以期对相关材料体系的性能优化与应用提供理论依据与数据支撑。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154877: 多孔金属内部微通道表面超亲水涂层调控与应用

Lidong Sun

¹ School of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China

多孔金属由体相内部大量弥散分布、相互连通的三维微通道构成，其具有比重小、比强度高、比表面积大、透气性和能量吸收性好等优点，被广泛应用于航空航天、交通运输、生物医药等重要领域。针对多孔金属内部微通道表面改性，可起到降低流阻、增大通量、提高比表面积等作用。然而，其内部微通道细小、狭长、无序的三维结构造成了内表面改性的难题，涂层均匀性和浸润性更加难以调控。本报告将探讨渗透电化学阳极氧化原理，并利用渗透阳极氧化法在多孔钛内部（孔径范围0.5-100 μm ）调控二氧化钛纳米管涂层，探索其在油水分离、太阳能水蒸发、渗透能转换等领域的应用。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-140391: 激光重熔对等离子喷涂 AlCoCrFeNi 涂层摩擦磨损及耐腐蚀性研究

Peihu Gao¹, Baiyang Chen², Da-ming Zhao³, Bo Zhang¹, Qi-bao Li¹

¹ Xi'an Technological University

² School of Materials and Chemical Engineering, Xi'an Technological University

³ Xi'an Technological University

大气等离子喷涂 (APS) AlCoCrFeNi 高熵合金涂层具有典型的层状结构, 涂层与基体之间呈现机械咬合, 且涂层粒子堆叠孔隙率相对较高。为了提高喷涂态 AlCoCrFeNi 涂层的耐磨性和耐腐蚀性, 采用激光重熔技术, 探究激光功率对 AlCoCrFeNi HEA 涂层耐磨性和耐腐蚀性的影响。结果表明: 随着激光功率的提高, 涂层内部的 BCC 相逐渐减少, 300W 重熔涂层与喷涂涂层具有相同的物相结构, 为单一 BCC 相, 其硬度最高, 达到 576 HV。随着激光功率的增加, 涂层中的体心立方 (BCC) 相含量降低, 形成了以面心立方 (FCC) 相为主的结构。激光重熔处理后, 涂层孔隙率降低, 其耐磨性提高, 在 300 W 的激光重熔条件下, 重熔涂层的摩擦系数和磨损率最低, 分别为 0.654 和 $0.881 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ 。同时, 300 瓦功率下重熔的涂层具有最佳的耐腐蚀性, 其自腐蚀电位 (E_{corr}) 最高为 -0.2263 V, 腐蚀电流密度 (I_{corr}) 最低为 $1.216 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$, 涂层耐腐蚀性的提高是得益于涂层结构改变及内部合金成分的均匀化。通过激光重熔后处理, 可改善等离子喷涂 AlCoCrFeNi 高熵合金涂层内部结构及组织成分均匀化, 提高涂层耐磨及耐腐蚀性。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154902: 碳钢表面 PTFE 超疏水涂层的制备及其耐蚀性能

Lv Yan¹, Pan Xin yu²

¹ School of New Materials and Chemical Engineering, Tangshan University, Tangshan, China

² College of E-commerce, Tangshan University, Tangshan, China

碳钢因其成本效益和优良的机械性能在建筑、运输等领域得到了广泛应用。然而，在潮湿环境下，碳钢容易受到电化学腐蚀，导致其使用寿命缩短，并可能引发经济损失和安全风险。

本研究通过将 20%、40%和 60%浓度的聚四氟乙烯水系分散液浸润磷化碳钢表面，开发了一种超疏水涂层。为了全面表征疏水涂层，采用了多种测试方法：使用扫描电子显微镜观察涂层的微观结构，利用傅里叶变换红外光谱分析涂层表面的化学成分，通过测量静态接触角评估涂层的疏水性，并使用电化学工作站进行耐腐蚀性测试。

实验结果表明，随着 PTFE 浓度的增加，涂层表面的静态接触角呈上升趋势。当 PTFE 浓度为 60%时，涂层的静态接触角达到 134°，表现出良好的疏水性。耐腐蚀性测试数据显示，在 3.5% NaCl 溶液中，与未处理的碳钢相比，涂覆涂层的碳钢腐蚀电流密度明显降低，自腐蚀电位向正向偏移，保护效率为 98.6%。傅里叶变换红外光谱的化学成分分析证实，涂层中存在 PTFE 特征官能团，形成了有效的涂层。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-154913: 纳米材料功能化的环氧树脂基防腐耐磨多功能涂层

Jianxi Liu

¹ Northwestern Polytechnical University

涂层防护是一种有效保护金属基体免受腐蚀、磨损及结冰等造成材料功能降低和失效的技术，其中环氧树脂（EP）涂层良好化学稳定性、热稳定性、以及高粘黏附性等特点在减缓表面失效方面应用广泛。然而，环氧树脂固有的脆性导致其易发生摩擦剥落，并且功能单一的环氧涂层难以满足复杂工况的性能要求。因此，发展多功能纳米复合涂层对其实现特定环境下的有效防护具有重要意义。纳米材料因其表面效应、小尺寸效应以及易表面功能化等优点，可作为功能填料提升环氧涂层综合防护性能。报告人利用超疏水表面和纳米容器负载缓蚀剂两种设计思路出发，实现表面润湿调控抑制液体渗入及内部缓蚀剂释放减少电荷转移。将双尺度氟硅烷改性的金属有机框架（MOFs）纳米片和 SiO₂ 纳米颗粒复合环氧树脂，制备了一种整合超疏水被动拒液性和光热 MOFs 主动响应升温性的超疏水多功能涂层；进一步设计了负载有机-无机双功能缓蚀剂的 MOFs 基智能防腐涂层，实现响应性缓蚀剂释放和金属基体的长效腐蚀防护。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-140363: 耐高氯脱硫废水腐蚀涂层研究

Shuang Jingxuan

¹ School of Chemical Engineering, Xinjiang University

新疆五彩湾矿区所产煤中氯含量较高，为提高低碳钢为基体的管道表面在高氯脱硫废水环境下的耐蚀性和硬度，本文采用电镀技术在低碳钢基体上制备 $\text{Ni-P-Cr}_2\text{O}_3\text{-PTFE}$ 纳米复合镀层。通过 X 射线衍射 (XRD)、扫描电子显微镜 (SEM-EDS) 和原子力扫描电镜 (AFM) 评估涂层表面形貌和微观结构特征，通过电化学测试的方法对涂层的耐蚀性进行表征。涂层致密均匀，厚度在 $35.5\mu\text{m}$ 左右。电化学测试结果表明，在加覆 PTFE 后，表面自腐蚀电流密度相较未加覆 PTFE 要低一个数量级，自腐蚀电位上升约 64%，表现出较好的耐蚀性。通过维氏显微硬度评估了沉积后镀层的摩擦力学性能，结果证实，加入纳米陶瓷颗粒后，镀层的摩擦机械性能有了显著提高。通过研究纳米粒子融入镍磷电镀层的微观结构和耐腐蚀特性，后利用 PTFE 填补镀层缺陷，提高了镀层的耐腐蚀性能。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-124357: 自修复高分子材料在金属腐蚀防护中的应用和挑战

Manping Yang¹, Shiyu Long¹, Bingfan Li²

¹ School of Vehicle and Energy, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China

² Yanshan University

自修复防腐涂层能够有效减少金属腐蚀所带来的损失，在金属防护中有巨大的潜力。本论文综述了涂层自修复类型，聚焦于不同类型自修复防腐涂层的修复机理，探讨了不同类型自修复材料的优缺点。首先，介绍了金属腐蚀的危害和自修复涂层在工业领域中的重要性。然后，总结了可逆动态键和形状记忆聚合物的触发条件，包括热触发、光诱导和水触发等方面，对本征型自修复涂层的特点和修复机理也做出了详细的描述。随后，以不同触发条件为分类，分析了外援型自修复防腐涂层的制备方法和作用机制。此外，由于单一的修复机制存在很多缺陷，本文还探索了多功能自修复涂层的修复机制。最后，对目前的研究现状进行了总结，提出了自修复涂层未来在实际工程应用中的发展方向。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-156593: 航天装备超低摩擦薄膜技术与应用

高 凯雄

¹ 中国科学院兰州化学物理研究所

航天装备关键运动部件润滑失效已经成为制约航天飞行器寿命和可靠性的瓶颈，发展适用于航天装备工况的高可靠性、低摩擦、长寿命的润滑材料与技术，对发展长寿命航天装备具有十分重要的意义。本文通过金属催化、材料结构与超低摩擦表界面配副设计，开发了两类航天装备超低摩擦薄膜材料体系，研究了氢含量、真空度、原子氧、配副对薄膜作用机制及摩擦学性能影响：（1）氢含量和真空度是影响超低摩擦薄膜真空摩擦学性能的主要因素；（2）原子氧辐照前后，薄膜厚度、氢含量几乎没有变化。但薄膜中奇元环比例降低，薄膜中的 sp^2 杂化碳变少， sp^3 杂化碳含量增多；（3）经过原子氧暴露后，薄膜中 $C-O$ 键（羟基）降低， $C=O$ 键（羧基）明显增加，然而，以氧化物形式存在的碳原子的总比例并没有因为原子氧暴露而明显增加（从 11.3% 只增加到 13.0%）；（4）薄膜与二硫化钼薄膜配副在真空中表现出超低摩擦，并将该体系应用在航天装备实际运动部件中。以上结果为超低摩擦固体润滑薄膜航天装备应用提供理论和实验基础。



© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

sciforum-158934: 高效光热防除冰涂层材料

Yubo Liu

¹ Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Science

寒冷气候下结冰积冰会给交通运输、风力发电、电力传输以及海上石油开采等生产和生活领域带来安全隐患，发展防冰除冰技术势在必行。通过耦合光热特性，发展具有被动防结冰及主动除冰特性的功能化涂层材料，能够实现极端低温及湿冷环境中的稳定防除冰。对防冰涂层材料的结构、组分进行调控设计改变热传递特性，能够有效提高涂层材料的防冰性能：通过设计光热疏水层-导热层-绝热层三层结构设计，实现向表面的定向传热，提高光热防/除冰效率；进一步的，设计多孔光热超疏水防冰材料，通过定性/非定向孔洞中驻留的空气层进行隔热，将热量集中于表面用于结冰防护，能够在低温（-30 °C）低光照（0.25 kW/m²）环境下实现表面不结冰；通过构筑超白电热涂层或复合具有热敏变色效果的微胶囊填料，可实现低温下电热或光热防/除冰，在高温下表面呈白色可避免涂层在强光炎热气候下表面过热，实现涂层表面温度的热管理；调节储能材料的相变特性，可降低防冰涂层表面的热损失速率，显著提升材料的防冰性能。



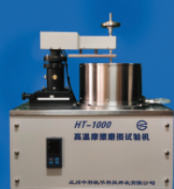
© 2025 by the author(s). Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



兰州中科凯华科技开发有限公司
Lanzhou Zhongke Kaihua Technology Development Co.,LTD



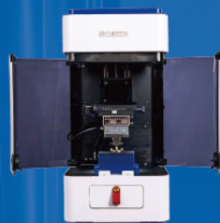
国家高新技术企业



HT-1000型高温摩擦磨损试验机



GF-1型超高温往复摩擦磨损试验机



CFT-II型多功能材料表面摩擦性能综合测试仪



GHT-1000E型高温真空摩擦磨损测试仪



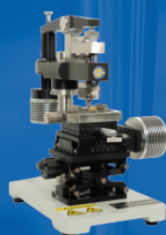
HVT-1000型高温真空硬度计



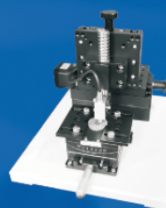
WTM-2E/3E型高精度可控气氛微量摩擦磨损试验机



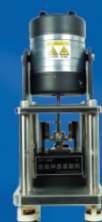
WDF-300型高频微动摩擦磨损试验机



WS-2005型涂层附着力自动划痕仪



MT-500型探针式材料表面摩擦测量仪



GFP-300型高频冲击材料表面摩擦试验机



CFT-I型材料表面性能综合测试仪



LTM-200型料浆冲蚀磨损试验机



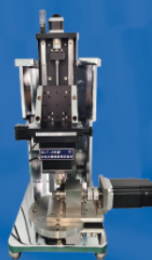
高温拉伸疲劳试验机



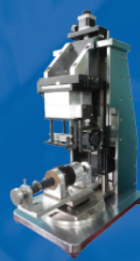
SFT-2M型圆盘式摩擦磨损试验机



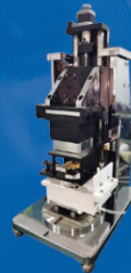
HSR-2M型高速往复摩擦磨损试验机



RLT-2M型环块式摩擦磨损试验机



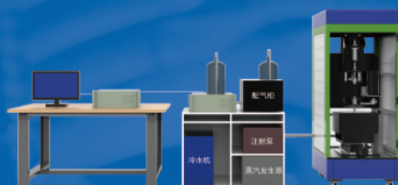
GDT-120型管壁摩擦磨损试验机



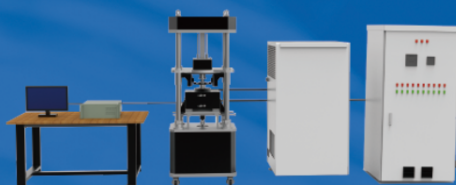
MSR-2T型往复腐蚀摩擦磨损试验机



DSR-II型直线匀速往复摩擦磨损试验机



KHT-1400型超高温水汽环境摩擦磨损测试系统



RBT-I型滚动轴承组件摩擦磨损测试仪



IMST-1000型冲击刮擦摩擦磨损试验机



引气高温摩擦试验机



公众号



产品咨询

单位名称：中国科学院兰州化学物理研究所

公司名称：兰州中科凯华科技开发有限公司

联系人：王振军(设备研发) 15117025700

蒋存义(产品咨询) 13609382552

www.zkqh.com lzzkqh@licp.cas.cn

北京共赢联盟国际科技有限公司

专注于提供先进复合材料性能检测、试样加工技术和仪器设备,包括快速无损检测树脂基体特性与工艺评价;先进复材样件加工机床,胶黏剂的粘附力与粘结强度测试分析整体解决方案,高分子材料研磨分散技术及其稳定性测试分析等。可为广大行业用户提供一流的技术、一流的产品、一流的服务。

德国LUM系列分散体稳定性分析仪

根据不同的样品,可检测分析:

- 测试稳定性
- 粒径分布
- 沉降/上浮
- 澄清速率
- 预测产品保存期
- 制定产品特征图谱
- 观察絮凝/团聚现象
- 沉降层/悬浮层厚度及紧密程度
- 研究胶体结晶化



纽迈ResMR25树脂含量分析仪

LUMiFrac粘附力分析仪

检测附着力和粘结强度涂层和表面属性。简单快速的预处理过程可在同等条件下检测8个样品,无需夹具-放入仪器即可开始。

ResMR25树脂含量分析仪

是一款针对树脂基复合材料树脂含量测试的专用仪器,采用电磁波原理,可快速测试树脂基复合材料中树脂含量,可用于树脂基复合材料的生产质量控制和产品检验。

德国EXAKT系列三辊研磨机及其混料脱泡设备

专用于高分子材料均质分散、研磨加工,具备实验室研究和规模化生产的多种机型。



罗姆(江苏)仪器有限公司



LUMiSizer® 分散体系分析仪
集所有测试于一身的分散体系分析仪



LUMiFuge® 稳定性分析仪
唯一直接、可加速的稳定性分析仪

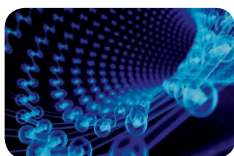


LUMiFrac® 粘附力分析仪
粘结强度测试的新标准

德国LUM是全球分散体系分析及颗粒表征的领先者,拥有多项专利技术,其下LUMi系列产品为分析颗粒表征提供了技术平台。可以帮助您以一种简单的方式解析复杂产品,简化和加速您的配方研发和质量控制过程

LUM公司生产的新型分析仪器已经成为许多研发,QA/QC部门的准实验室设备。LUM仪器协助我们的客户成功研发,定制新产品,同时也可以改进现有产品配方,使其快速推向市场。完全符合公司的口号,STEP™技术在分散体分析及物料测试中的应用。

适用于广泛的应用领域



- 液滴和颗粒的粒度分布
- 密度分布和磁化
- 颗粒分离速度分布
- 直接加速和实时的稳定性动力学
- 比较和预测货架期
- 纳米和微米颗粒的计数/浓度
- 拉伸和剪切强度
- 产品特性



MDPI AG
Grosspeteranlage 5
4052 Basel
Switzerland
Tel.: +41 61 683 77 34

Coatings Editorial Office
E-mail: crystals@mdpi.com
www.mdpi.com/journal/crystals



Disclaimer/Publishers' Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

