

# 中国表面工程

## CHINA SURFACE ENGINEERING



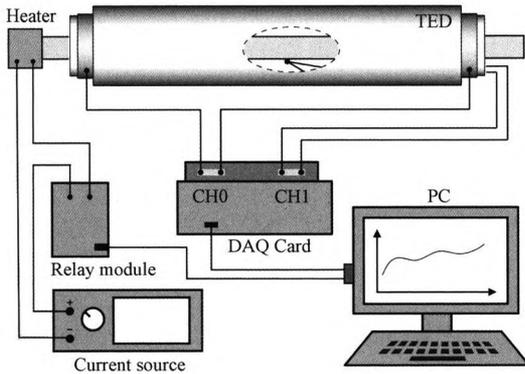
**封面文章：**管形TEG的等离子喷涂制备  
及其热电性能

**作者：**吕明达 张广军

34卷 **1** 期 双  
月刊  
2021年2月刊

## 1 管形 TEG 的等离子喷涂制备及其热电性能

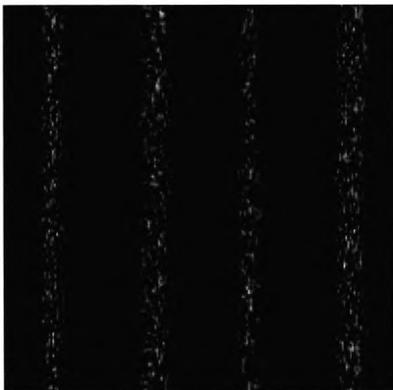
吕明达 张广军



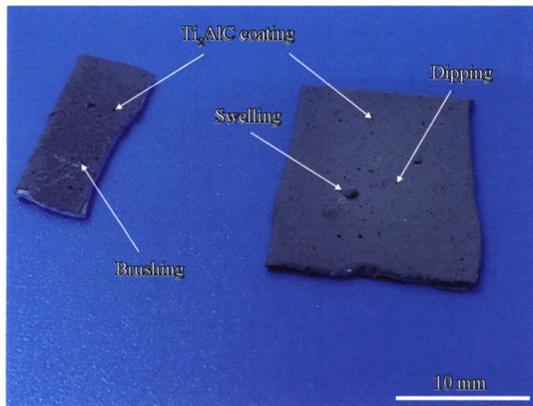
**摘要:** 热电器件(Thermoelectric generator, TEG)利用材料内部载流子运动可实现对低品质余热废热能的回收利用。相较于热电材料的发展,TEG 制备技术的滞后制约了 TEG 的广泛应用。针对上述问题,探索使用灵活、高成本效益的等离子喷涂技术制备高锰硅(Higher manganese silicide, HMS)基管形 TEG 的可行性,详细描述了层积型 TEG 的喷涂制备过程,并对高锰硅热电沉积层的物相组织、微观形貌进行表征,最后测试管形 TEG 热电 P-N 单元的热电输出性能。结果表明,等离子喷涂制备的多层复合结构管形 TEG 成形良好;高锰硅沉积层作为热电功能层,喷涂后保持与原始粉末相同的 HMS 主体相,同时沉积层的快速冷却过程减少了杂质 Si 相的残余;管形 TEG 在自然散热工况下,当柱状热源为 450 ℃ 时单个 P-N 单元电压输出可达 24.69 mV,满足超低压收集装置的电压输入要求。

## 8 特征参量选择对磁巴克豪森噪声评价材料硬度的影响

谭君洋 夏丹 董世运 吕瑞阳 徐滨士



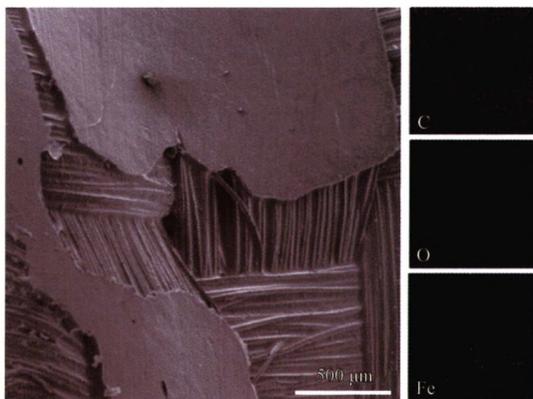
**摘要:** 硬度是材料力学性能的重要指标之一,传统的压痕法测量方式会对材料产生破坏,因此硬度的无损评价成为该领域研究热点。针对合金钢表面硬度快速定量无损检测需求,设计 6 种不同热处理的 24CrNiMo 合金钢试件,采用磁巴克豪森噪声检测系统测量试件的无损检测信号,并提取 3 个不同的信号特征参量,分别建立不同评价参量与硬度之间的映射关系,得到 3 种硬度单参量评价模型,验证和对比单参量评价模型的相关系数和评价精度,分析模型存在问题和缺陷。为进一步提高合金钢硬度评价精度和可靠性,提出基于信号全量特征的多元评价参量,建立硬度多元参量评价模型,并对评价模型进行验证和对比分析。结果显示:基于卷积神经网络的多元参量评价模型效果好于单参量评价模型,其评价结果的平均误差为 0.97%,最大误差为 2.78%。研究成果为合金钢硬度快速定量无损检测提供了新方法,提高了评价精度、可靠性和稳定性。



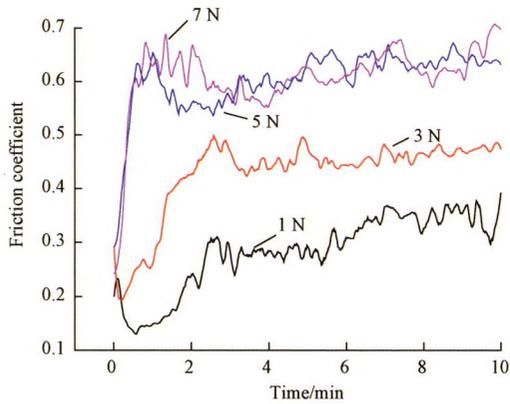
**摘要:** MAX 相  $Ti_2AlC$  是一种很有潜力的热障涂层抗环境沉积物 (CMAS) 腐蚀防护层材料。采用料浆法在 YSZ ( $Y_2O_3$  部分稳定  $ZrO_2$ ) 热障涂层表面制备  $Ti_2AlC$  防护层, 研究粘结剂种类、粘结剂含量、涂覆方式、保温时间和烧结温度对涂层结合质量的影响。结果表明, 与硅酸钠相比, 乙基纤维素作为粘结剂更合适, 当粘结剂含量为 7% 左右时,  $Ti_2AlC$  涂层表面完整, 无明显缺陷; 与刷涂方法相比, 采用浸渍的涂覆方式得到的涂层致密性良好, 界面处无明显缝隙; 最佳的烧结温度和保温时间为  $1250\text{ }^\circ\text{C}$ , 10 h。最终采用优化出的参数在 YSZ 热障涂层表面制备出了厚度  $\sim 100\text{ }\mu\text{m}$  的  $Ti_2AlC$  防护层, 其与 YSZ 涂层之间的界面完整, 结合良好, 为 MAX 相  $Ti_2AlC$  用于 CMAS 防护层提供了指导。

## 25 钢背 UHMWPE 纤维织物复合材料的摩擦学性能分析

林羽东 郭智威 袁成清



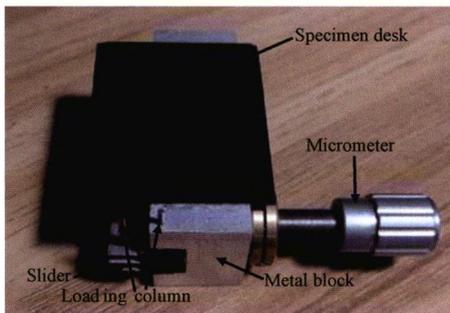
**摘要:** 纤维织物增强钢背复合材料因具备优异的力学与摩擦学性能在航空航海等领域备受关注, 在无油或少油工况下具有较好的应用前景。使用改性处理的超高分子量聚乙烯 (Ultra-high molecular weight polyethylene, UHMWPE) 纤维织物作为增强材料, 利用环氧树脂热压在不锈钢环上制备 UHMWPE 纤维织物增强钢背复合材料, 研究其与 45 钢盘在环-环端面干摩擦状态下的摩擦学特性, 考察纤维织物层数与摩擦转速对材料摩擦学性能的影响, 对磨损前后复合材料厚度及 45 钢质量进行测取, 利用表面轮廓仪与扫描电子显微镜对复合材料及对偶件磨损面进行观察与分析。结果表明, 三种织物结构均能改善不锈钢的摩擦磨损特性, 其中一层织物结构所表现的综合摩擦特性最好, 在试验工况下摩擦因数与磨损率平均降低了 77.7% 与 67.2%, 在试验工况下主要发生磨粒磨损; 二层与三层织物由于具备下层织物的支撑, 故在较高转速下能保持材料自身良好的摩擦学特性, 二层织物在试验工况下摩擦因数与磨损率平均降低了 71.5% 与 65.7%, 三层织物则为 73.1% 与 60.3%, 由于摩擦热量的积聚同时伴有树脂碎屑与破碎纤维的加入, 其在高速下主要经历黏着磨损与疲劳磨损。试验表明, 织物结构于干摩擦工况下表现出较优的摩擦特性与可靠性, 能较好地胜任无油或少油作业。



**摘要:** 采用先驱体转化陶瓷法(PDC法)制备含 ZnO 晶须的 Ti-Si 复合陶瓷涂层,将 ZnO 晶须添加到激光裂解 Ti-Si 复合陶瓷涂的先驱体中,增强 Ti-Si 复合陶瓷涂层的防腐性能 and 减摩耐磨性能。通过扫描电子显微镜(SEM)、X 射线衍射仪(XRD)、往复摩擦磨损测试仪、电化学工作站等手段,分析含不同质量分数 ZnO 晶须的 Ti-Si 复合陶瓷涂层的元素组成及存在形式、表面形貌、摩擦磨损性能以及防腐性能。添加 ZnO 晶须对 Ti-Si 复合陶瓷涂层的组成和化学价态没有影响,但添加 ZnO 晶须对 Ti-Si 复合陶瓷涂层的防腐性能有改善,添加 ZnO 晶须对 Ti-Si 复合陶瓷涂层的减摩性能有改善,在较高载荷下添加 ZnO 晶须可以降低 Ti-Si 复合陶瓷涂层的摩擦因数,添加 ZnO 晶须质量分数为 10% 所得的 Ti-Si 复合陶瓷涂,载荷为 5 N 和 7 N 时摩擦因数均比 45 钢低 52%。添加不同质量分数 ZnO 晶须对复合陶瓷涂层表面表面形貌有很大影响,同时可以改善 Ti-Si 复合陶瓷涂层摩擦磨损性能以及防腐性能。

#### 41 微桥法基体裂纹的线性模型及薄膜断裂应变测试

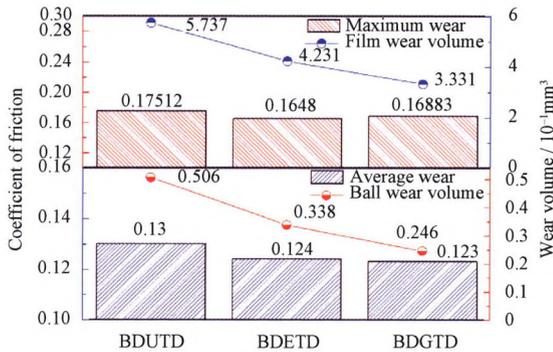
张晓民 李金刚 冯 杰 马利锋 刘明霞



**摘要:** 薄膜断裂韧性测试方法的有效性取决于薄膜断裂应力和应变的精确测量。采用高分辨扫描电镜对微桥法单晶硅片基体紧凑拉伸测试样品在测试过程中的基体裂纹张开量进行考察,发现基体裂纹尾部张开量( $\delta_{s1}$ )在 9~35  $\mu\text{m}$  的范围内,与止裂孔边缘基体裂纹张开量( $\delta_{s2}$ )存在良好的线性关系。该试验结果表明存在一个位置恒定不变的虚拟裂纹尖端,使得基体裂纹张开量遵循线性关系。基于该基体裂纹张开量的线性模型,可通过基体裂纹尾部张开量  $\delta_{s1}$  的测量来间接获得薄膜的拉伸应变,进而计算薄膜在单轴拉伸和弯矩作用下的断裂韧性。对 CuZr 非晶合金薄膜的标准化测试结果表明,薄膜断裂韧性  $K_{Ic}$  在 1.08~1.70  $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  的范围内变化,且与薄膜预制裂纹长度  $a/W$  存在一定的相关性,可能与非晶合金薄膜的应变软化机制有关。

## 50 结构对硼掺杂金刚石涂层刀具摩擦学性能的影响

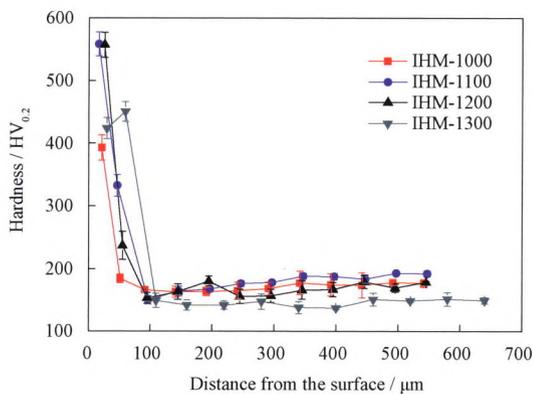
张志强 向道辉 胡永伟 陈艳彬 赵波 高国富



**摘要:** 利用激光技术在硬质合金刀具上分别制备椭圆结构和沟槽结构。同时,利用热丝化学气相沉积法(HFCVD)在刀具上分别制备硼掺杂无织构金刚石(Boron doped un-texture diamond film, BDUTD film)薄膜、硼掺杂椭圆织构金刚石(Boron doped elliptical textured diamond film, BDETD film)薄膜以及硼掺杂沟槽织构金刚石(Boron doped groove textured diamond film, BDGTD film)薄膜,通过摩擦磨损试验机,对不同织构形状的薄膜进行摩擦试验研究。另外,采用扫描电镜(SEM)、拉曼光谱(Raman)和能谱分析(EDX)对表面形貌、成分及残余物质进行分析。试验结果表明,BDUTD薄膜表现出最大平均摩擦因数,其值为0.13。BDETD以及BDGTD薄膜的平均摩擦因数分别为0.124和0.123。从磨损形貌来看,BDUTD薄膜及BDGTD薄膜对偶件的磨损直径分别为1.506 mm和1.254 mm。BDUTD薄膜的磨损表面黏附有少量团簇状的磨屑,且有破裂的金刚石晶粒出现。BDGTD薄膜的表面织构沟槽中有少量磨屑,金刚石晶粒几乎没有出现磨损。

## 60 40Cr 钢表面包埋渗 Mo 涂层组织及摩擦性能

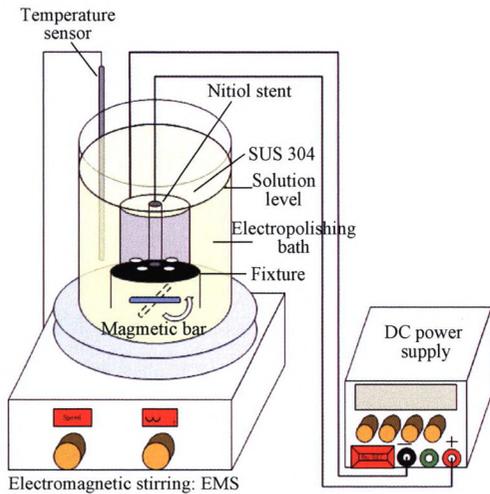
胡建军 赵雪 郭宁 杨显 李晖 许洪斌



**摘要:** 热扩散渗钼(Mo)是钢材表面化学成分改性方式之一,其可提高钢的淬透性,与碳作用形成高熔点的碳化物,能够提高钢铁材料表面的耐磨性。为探索热扩散渗钼工艺,分别采用箱式炉加热和感应加热对40Cr钢进行1000~1300℃不同温度下包埋扩散渗处理,利用场发射扫描电子显微镜(FEG-SEM)、X射线衍射技术(XRD)和摩擦磨损试验研究了渗Mo试样的微观组织、元素分布、物相构成以及摩擦磨损性能,并对感应加热渗Mo微观结构的演变机理进行了阐述。结果表明:在1100℃下箱式炉加热未观察到明显的Mo渗层,而感应加热在不同温度下形成了30~70 μm厚的Mo渗层;感应加热后试样截面组织由Mo渗层、过渡层、受影响层、基体组成,其中Mo渗层主要由Fe-Mo固溶体(Fe-Mo SS)和碳化物相组成,过渡层由合金珠光体组成,受影响层为贫碳区;研究表明感应加热Mo渗层的最高硬度为560 HV<sub>0.2</sub>,约为原始试样的两倍,IHM-1200试样的摩擦因数为0.73,比原始试样低0.12,磨损质量略低于原始试样,Mo渗层显著提高40Cr钢的摩擦性能。

## 70 电解抛光提高镍钛合金心血管支架表面性能

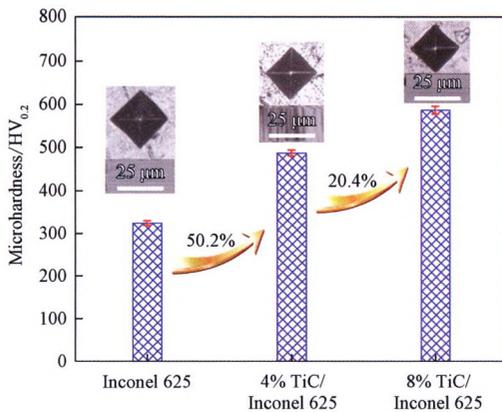
孙晓宇 魏修亭 李志永 王永琪 刘汉卿 娄德大



**摘要:** 植入高性能的心血管支架是治疗心血管疾病的主要手段,而支架的制造工艺决定了其表面性能。采用乙二醇-氯化钠无毒电解液电解抛光工艺来提高镍钛合金心血管支架的表面完整性和生物相容性。试验结果表明,该工艺制造镍钛合金心血管支架的表面完整性和生物相容性明显改善:镍钛合金心血管支架表面光亮平整,没有熔渣和热影响区,表面粗糙度达到  $Ra\ 85.5\ \text{nm}$ ;镍钛合金心血管支架表面化学成分发生改变,表面形成二氧化钛保护膜,阻止了 Ni 离子析出,且电化学腐蚀性能明显提高,有效改善了支架生物相容性;该工艺采用醇-盐无毒电解液进行抛光,提高了工艺对环境的友好性。此外,该工艺解决了镍钛合金心血管支架制造领域的关键技术难题,制造出了性能优良的镍钛合金心血管支架,为高质量心血管支架制造提供了科学依据。

## 76 TiC 含量对激光选区熔化 Inconel 625 合金微观组织及表面摩擦磨损性能的影响

褚清坤 余春风 邓朝阳 胡新广 闫星辰 胡永俊 刘敏



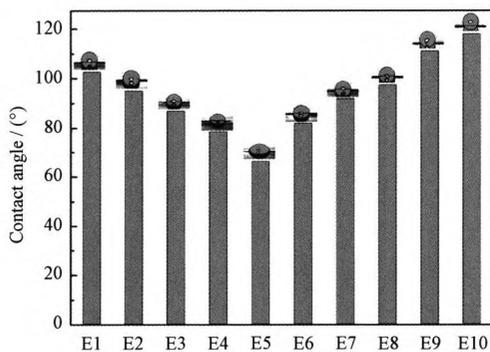
**摘要:** 为了提高 3D 打印镍基高温合金强度、硬度及耐磨性能,使用激光选区熔化技术 (Selective laser melting, SLM) 制备添加不同质量分数 TiC 增强 Inconel 625 合金材料,并对比添加不同质量分数 TiC (4 wt. % 和 8 wt. %) 所制备的 SLM TiC/Inconel 625 试样的摩擦磨损性能。结合 X 射线衍射仪 (XRD), 金相显微镜 (OM), 扫描电子显微镜 (SEM) 及能谱分析 (EDS) 等材料表征手段对 TiC/Inconel 625 试样的物相分布, 微观组织结构及磨损前后的元素分布进行对比分析。结果表明,随着 TiC 含量的增高,SLM TiC/Inconel 625 硬度从  $325\ \text{HV}_{0.2}$  (不含 TiC) 升高到了  $587\ \text{HV}_{0.2}$  (SLM 8 wt. % TiC/Inconel 625), 磨损率也由  $22.4 \times 10^{-5}\ \text{mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$  下降为  $9.8 \times 10^{-5}\ \text{mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ 。其中,平均摩擦磨损系数最小的为 SLM 4 wt. % TiC/Inconel 625 ( $\text{COF}=0.47$ )。综合对比可以发现通过添加适量的 TiC 颗粒可以有限改善 SLM Inconel 625 的硬度及耐磨性能。



**摘要:** 利用等离子熔覆技术制备 Ni 基涂层,用直接加入的 WC 和原位合成的 TiC 复合增强,分析原料体系中(Ti+C)和 WC 的含量变化对涂层物相组成、微观组织、显微硬度和滑动摩擦磨损性能的影响。结果表明:WC 在熔池中溶解,分解出 W 和 C,W 扩散进入原位生成的 TiC 中,形成(Ti,W)C 固溶体,W 的扩散不充分使(Ti,W)C 呈现核壳结构。随原料中(Ti+C)含量的增多(0~20%)和 WC 相应含量的减少(40%~20%),WC 溶解程度增大,(Ti,W)C 颗粒形貌由八面体转变为椭圆形;(Ti,W)C 生成量的增多使涂层上部硬度提高,WC 聚集沉底现象的减弱使涂层下部硬度下降,与基材 Q235 之间形成较平稳的硬度梯度。涂层耐磨损性能显著优于基材,当(Ti+C)和 WC 的含量分别为 10%和 30%时,涂层的磨损体积为基材的 8.33%。

## 97 空气/液体环境下一步法制备 304 不锈钢织构表面的润湿性研究

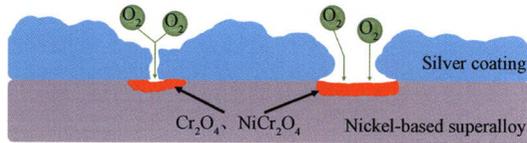
温永美 赵向阳 王国盛 李坤



**摘要:** 表面润湿性是表面技术的研究热点。为研究不同加工环境中激光制备微织构对 304 不锈钢表面润湿性的影响,采用光纤激光打标机,在空气、无水乙醇环境中采用一步法制备了微织构表面,从织构形貌、织构表面化学成分分析加工环境及激光参数对 304 不锈钢表面润湿性的调控机理。结果表明,无织构 304 不锈钢表面接触角为 56.89°,表现出了亲水特性;空气环境中制备的织构为微米尺度的沟槽织构,与无织构 304 不锈钢表面相比 O 原子明显增多,其表面接触角为 10.61°,表现出了高亲水特性;试验所选参数范围内,无水乙醇环境中制备的织构为不规则的微纳织构,与无织构 304 不锈钢表面相比新增了大量 C 原子,其表面接触角为 66.14°~117.83°,表现出了疏水特性;亲/疏水表面可以应用在微量液体的定向运输。影响 304 不锈钢表面润湿性的因素主要有织构形貌和表面化学成分。该研究为 304 不锈钢表面润湿性调控提供了参考。

## 104 磁控溅射银镀层和电镀银镀层硬度及结合性对比研究

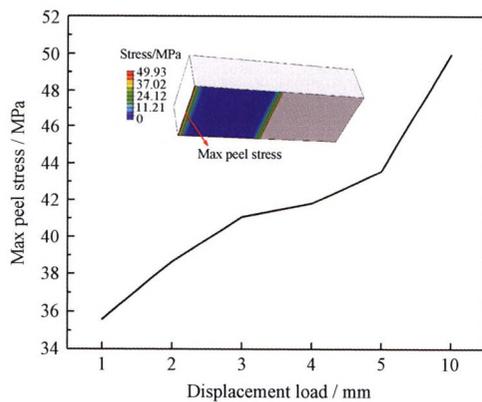
宋肖肖 崔子凡 何 鹏 胡隆伟 董艇舰



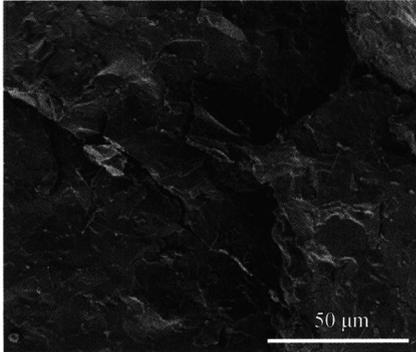
**摘要:** 采用电镀与中频-直流磁控溅射技术分别在 Inconel 718 镍基高温合金基体表面制备银镀层。使用维氏显微硬度和微纳米划痕仪分别测量两种镀层在室温下、工况使用温度退火后、极限温度退火后的硬度与附着力;借助 SEM、EDS 观察测试镀层的微观形貌以及元素构成在不同保温处理后的变化。结果表明,在室温 25 ℃ 下磁控溅射银镀层的显微硬度是 139.7 HV,其硬度与电镀银镀层相比增强 45.5%;附着力为 40 N,是电镀法制得的 3 倍。保温处理后由于中频-直流磁控溅射法制得的银镀层的单个晶粒平均尺寸更小且分布更均匀,镀层与基体间界面的氧化被更好地抑制。相比传统电镀银镀层,400 ℃ 下磁控溅射银镀层硬度与结合性相比电镀银镀层有显著提高;但在 650 ℃ 下优势较小,24 h 后两种镀层都出现脱落。

## 112 II 型滑移开裂行为下竹胶板单搭接结构力学特性

张 杰 邓砚泽 张 瀚 赵广慧 向 东



**摘要:** 为研究竹胶板的剪切滑移力学行为与失效机理,建立竹胶板单搭接结构 II 型滑移开裂数值模型,考虑非线性接触,利用无厚度 cohesive 黏聚力行为模拟黏接层损伤失效,从极限失效载荷、剥离应力及剪切应力角度分析单搭接结构在位移载荷作用下发生剪切滑移失效的演化规律,探究了竹胶板厚度、黏接长度、位移载荷量对搭接结构失效机制影响规律。结果表明,竹胶板厚度越小,搭接面沿长度两侧剥离失效越剧烈,一定范围内的竹板厚度增加可提高单搭接结构胶合能力;随着搭接长度增加,极限失效载荷增长率下降,搭接面上出现更多胶层界面黏合破坏区域,混合破坏模式更加明显,而自由边长度对搭接效果无显著影响;搭接面剥离失效占比随位移载荷增加而增加。研究结果可为竹材的胶合结构设计提供理论依据。



**摘要:** 轻质多主元合金是一种新型的轻质合金,拥有独特的晶体结构以及力学性能,在航空航天领域具有极大的发展潜力。采用电弧堆焊的方法在 TC4 钛合金表面制备 Al-Ti-Cu 轻质多主元合金熔覆层,堆焊材料为 Al-Ti-Cu 绞股焊丝,制备出的熔覆层与基体呈现出良好的冶金结合,进一步拓宽了轻质多主元合金的应用。采用 X 射线衍射仪(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)、能谱仪(EDS)对熔覆层的组织和力学性能进行了研究。借助密度测试仪、维氏硬度仪、摩擦磨损测试仪、万能力学性能测试机对熔覆层的密度、硬度、耐磨性和强度进行研究。结果表明,熔覆层主要存在 BCC 结构的 Al-Cu<sub>2</sub>Ti 相和少量的 CuO 相和 Fe<sub>2</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>9</sub> 相。熔覆层枝晶形态整体呈现为花瓣状。在室温下,熔覆层的平均硬度为 340.8 HV,熔覆层干摩擦磨损失效形式为粘着磨损和氧化磨损;熔覆层耐磨性强于 45 钢、磨损体积是 45 钢的 85%。熔覆层密度为 4.88 g/cm<sup>3</sup>,压缩率为 26%,压缩强度为 1 187 MPa,比强度约为  $2.661 \times 10^5 (\text{N} \cdot \text{m}^{-2}) / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ 。接近 Ti 合金的比强度,属于比强度较高的轻质合金。

**CONTENTS**

- 1 Manufacturing of Tubular Thermoelectric Generator by Plasma Spray and Its Thermoelectric Property**  
LÜ Mingda ZHANG Guangjun
- 8 Influence of Characteristic Parameter Selection on Material Hardness Evaluation by Magnetic Barkhausen Noise**  
TAN Junyang XIA Dan DONG Shiyun LÜ Ruiyang XU Binshi
- 16 Preparation of Ti<sub>2</sub>AlC MAX Phase Protective Coating on YSZ Thermal Barrier Coatings by Slurry Method**  
GUO Lei LI Bowen FENG Jiayi
- 25 Tribological Properties of Steel Backing UHMWPE Fabric Composite**  
LIN Yudong GUO Zhiwei YUAN Chengqing
- 35 Structure, Frictional Wear and Corrosion Resistance of Ti-Si Composite Ceramic Coatings by Laser Cracking with ZnO Whiskers**  
WANG Xiao LIU Zhaowei QIAO Yulin WANG Sijie
- 41 Linear Opening Model of Substrate Pre-crack and Determination of Fracture Strain of Thin Film during Tensile Testing of Microbridge Method**  
ZHANG Xiaomin LI Jingang FENG Jie MA Lifeng LIU Mingxia
- 50 Effects of Texture on Tribological Properties of Boron-doped Diamond Coated Tools**  
ZHANG Zhiqiang XIANG Daohui HU Yongwei CHEN Yanbin ZHAO Bo GAO Guofu
- 60 Microstructure and Tribological Properties of Mo-coating Prepared by Pack-cementation on 40Cr Steel**  
HU Jianjun ZHAO Xue GUO Ning YANG Xian LI Hui XU Hongbin
- 70 Improving Surface Properties of Nitinol Cardiovascular Stent by Electropolishing**  
SUN Xiaoyu WEI Xiuting LI Zhiyong WANG Yongqi LIU Hanqing LOU Deda

**76 Effect of TiC on Microstructure and Wear Properties of Inconel 625 Alloy Fabricated via Selective Laser Melting Technology**

CHU Qingkun YU Chunfeng DENG Zhaoyang HU Xinguang YAN Xingchen HU Yongjun LIU Min

**85 Microstructure and Properties of WC and TiC Composite Reinforcement Ni Based Coatings**

CHI Jing WANG Shufeng LI Min WU Jie HAN Ye

**97 Wettability of Textured Surface of 304 Stainless Steel Prepared by One Step Method in Air/Liquid Environment**

WEN Yongmei ZHAO Xiangyang WANG Guosheng LI Kun

**104 Comparison of Hardness and Adhesion Strength between Magnetron Sputtered and Electroplated Silver Coatings**

SONG Xiaoxiao CUI Zifan HE Peng HU Longwei DONG Tingjian

**112 Mechanical Properties of Bamboo Glued Board with Single Lap Structure under Mode II Slip Cracking Behavior**

ZHANG Jie DENG Yanze ZHANG Han ZHAO Guanghui XIANG Dong

**121 Microstructure and Mechanical Properties of Light Multi-element Alloy Cladding Layer for Arc Surfacing Welding**

HUANG Shaofu GUO Yu

# 《中国表面工程》第五届编委会

## 荣誉委员:

王仁智 王至尧 王建曾 左铁镛\* 卢柯\* 朱诚 关桥\* 李健 李克让  
李基森 吴林 宋天虎 张嗣伟 周廉\* 赵连城\* 柯伟\* 钟群鹏\* 姜晓霞  
徐航 海锦涛 黄石生 黄先祥\* 曹春晓\* 屠振密 臧克茂\* 潘际奎\*

主任委员: 徐滨士\*

副主任委员: 马世宁 陈建敏 朱胜

## 国内编委:

丁传贤\* 马世宁 马胜利 王为 王彦 王铀 王维 王立平 王海斗  
王福会 甘晓华\* 左铁钊 叶福兴 冯吉才 吕反修 朱胜 朱旻昊 朱嘉琦  
乔培新 向巧\* 刘敏 刘宣勇 刘维民\* 安茂忠 孙冬柏 杜善义\* 李骏\*  
李曙 李长久 李金桂 李晓刚 李晓延 何实 何丹农 张平 张帆  
张伟 张永振 张晨辉 陈坚 陈华辉 陈建敏 陈超志 邵天敏 范多旺  
林安 林健凉 周仲荣 周克崧\* 单际国 单忠德\* 段金弟 顾卡丽 徐久军  
徐可为 徐滨士\* 高玉魁 高金吉\* 郭东明\* 黄峰 梅金虎 曹华军 葛世荣  
游光荣 雷明凯 蔺增 雒建斌\* 薛群基\*

## 国际编委:

Dongying Ju (日本)      Hanlin Liao (法国)      Hanshan Dong (英国)  
Jacek Senkara (波兰)      Joseph Buhagiar (马耳他)      Nabil Z. Nasr (美国)  
Ping Xiao (英国)      Rolf Steinhilper (德国)      Ronghua Wei (美国)  
Sik-Chol Kwon (韩国)      Tadeusz Wierzchoń (波兰)      William Schwarck (英国)  
Winifred Ijomah (英国)      Wolfgang Tillmann (德国)      Zhenqi Zhu (美国)  
Zhong Chen (新加坡)

(注: 带\*号的为中国科学院、中国工程院院士)

ISSN 1007-9289



9 771007 928215