

中国表面工程

CHINA SURFACE ENGINEERING



封面文章: DZ2 车轴钢离子渗氮层的冲击
磨损损伤演变研究

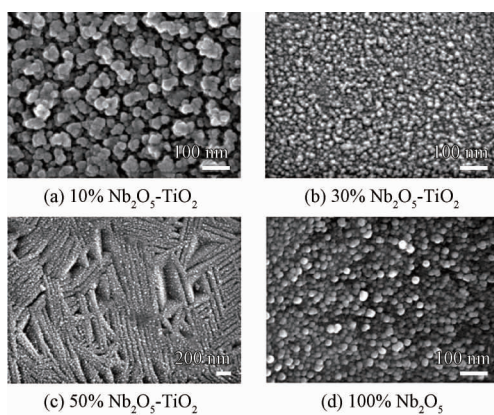
作者: 任岩平 贺继樊 蔡振兵 彭金方
李忠文 卢金生 朱旻昊

34卷 **4** 期 双
2021年8月刊

综述论文

1 等离子喷涂技术在骨植入体表面改性中的研究进展

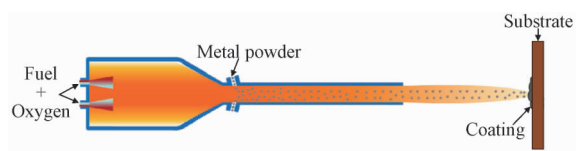
吴 犇 陈晓艺 路怀峰 赵晓兵 王国成



摘要: 金属植入体材料已广泛用于各种硬组织相关疾病的治疗,但金属植入体表面的骨整合和抗菌能力不足,往往导致临床植入手术失败。表面改性能够在保持金属材料优异力学性能的同时,针对性地改善其表面特性,目前广泛用于解决金属植入体存在的骨整合能力差和缺乏抗菌性能等问题。在众多表面改性技术中,等离子喷涂因性价比高、工艺成熟、原料可选择范围广及可大规模生产等优点,目前已在人工关节和牙种植体表面改性方面获得商业化应用。从提高植入体成骨活性、抗感染能力及骨免疫调节能力等方面介绍等离子喷涂技术的优势及其在金属植入体表面改性方面的研究进展,阐述等离子喷涂技术在优化骨科植入体表面化学性质方面的优势,并重点讨论等离子喷涂技术在制备和调控植入体表面纳米结构方面的潜在应用价值,为植入体表面设计提供借鉴。还结合课题组前期在等离子喷涂技术领域的相关工作,提出关于等离子喷涂技术在骨植入体表面改性方面的新思路。

12 热喷涂技术的装备应用现状及发展前景

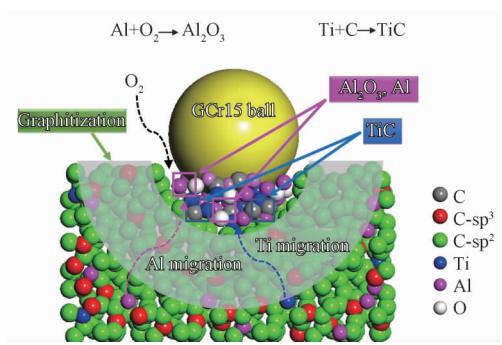
陈永雄 罗政刚 梁秀兵 胡振峰 黄 昊



摘要: 热喷涂是装备表面工程领域的一项重要涂层制备方法,在表面功能性涂层加工、废旧零部件修复再制造已取得了持续的发展,而且在金属和陶瓷等材料的近净成形或增材制造领域也表现出良好的发展潜力。综述了热喷涂在航空发动机与起落架表面防护方面的应用,其中主要采用等离子喷涂技术喷涂陶瓷涂层及新型氮化硼涂层,以显著改进涂层抗氧化性,延长涂层寿命。另一方面,从装备隐身、舰艇防腐与防滑涂层、直升机沙尘防护、零件直接增材制造等角度剖析国内外典型武器装备领域的研究应用现状,如武器装备的电磁波屏蔽涂层克服多频谱问题,“海军先进非晶涂层”克服甲板的抗磨损、抗腐蚀问题;从技术层面分析影响热喷涂发展的关键问题,亟需突破涂层残余应力、界面结合强度、组织结构缺陷等薄弱环节。最后在武器装备增材制造和再制造领域对该技术的应用前景进行了展望。主要总结热喷涂技术在典型武器装备的应用现状,分析影响热喷涂发展的关键技术问题,填补了军用热喷涂行业的综述空白。

19 元素掺杂对类金刚石薄膜摩擦学性能的影响

郭培林 贾 倩 孟树文 刘广桥 赖振国 文欣宇 张 斌

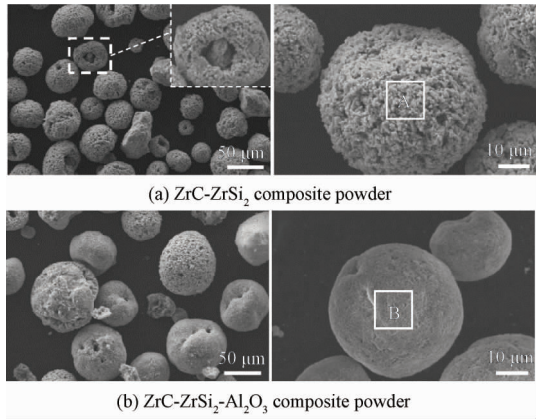


摘要: 类金刚石碳薄膜具有良好的润滑性能,摩擦界面的磨屑或摩擦层结构影响其摩擦行为。掺杂的类金刚石碳薄膜是一个重要类别,其特征在于在非晶碳结构中结合不同的元素,改善其力学、摩擦学、电化学等性能。报告了不同非金属及金属元素的掺杂对类金刚石碳薄膜性能的影响,讨论了摩擦学性能随其化学组成和微观结构的变化,尽可能获得其间的一般趋势或相关性,并对元素掺杂类金刚石薄膜的发展进行了展望。

研究论文

30 纳米 Al₂O₃ 对等离子喷涂 ZrC-ZrSi₂ 复合涂层结构与性能的影响

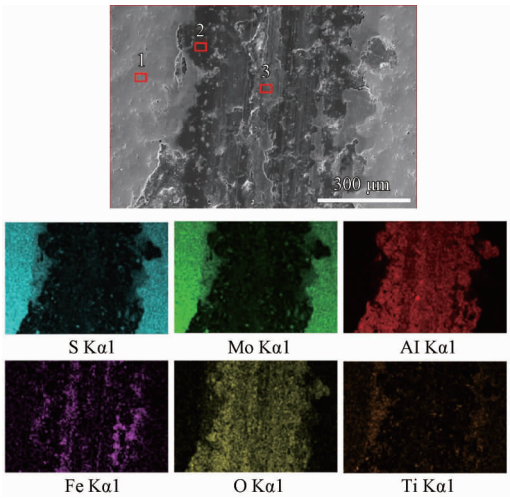
邵宇轩 王 磊 杨 勇 赵策策 王彦伟 马玉夺 崔宇航



摘要: 大气等离子喷涂 ZrC-ZrSi₂ 陶瓷涂层的孔隙率高,提高等离子喷涂 ZrC-ZrSi₂ 陶瓷涂层的致密度成为亟待解决的问题。在 TC4 钛合金表面采用大气等离子喷涂 ZrC-ZrSi₂ 复合粉和 ZrC-ZrSi₂-Al₂O₃ 复合粉分别制备两种复合涂层。研究纳米 Al₂O₃ 对等离子喷涂 ZrC-ZrSi₂ 复合涂层组织结构与性能的影响。结果表明,添加了 Al₂O₃ 的 ZrC-ZrSi₂ 复合涂层的组织结构更为致密,相较于 ZrC-ZrSi₂ 复合涂层具有更优异的力学性能。熔点相对较低的 Al₂O₃ 能够在喷涂熔流中先熔化,熔融态的 Al₂O₃ 能够填充在 ZrC-ZrSi₂ 复合涂层的孔洞处,提高复合涂层的致密度,改善涂层的力学性能。研究成果可为提高大气等离子喷涂制备含高熔点组分复合涂层的致密度提供指导。

38 铝合金表面润滑耐蚀复合镀层的制备及性能分析

肖金涛 鞠鹏飞 臧旭升 邢明秀 周 宏 徐 州 李忠建



摘要: 针对铝合金表面易磨损、易腐蚀的问题,开展铝合金阳极氧化和磁控溅射二硫化钼复合镀技术研究,制备润滑耐蚀复合镀层。通过表面形貌分析、摩擦磨损试验、电化学测试和磨痕分析,分别评价复合镀层的湿热存储前后的润滑性能、耐蚀性能和润滑机理。结果表明,当氧化膜厚度为 15 μm ,溅射二硫化钼膜为 2 μm 时,复合膜在载荷分别为 1、5、10 和 20 N 的往复运动模式下,湿热存储 2 160 h 前后的摩擦因数均小于 0.1,摩擦寿命大于 20 000 次;采用 EDS 对磨痕的形貌和成分分析,表明复合膜层表面与 9Cr18 对偶件对磨时形成了转移膜,磨损机制为粘着磨损;采用动电位极化曲线分析,表明复合膜层主要通过提高铝合金表面的腐蚀电位来提高铝合金表面的耐蚀性。研究证明制备的复合镀层有效地提高了铝合金表面的润滑耐蚀性能,在航空航天领域有较好的应用前景。

46 7050 铝质弹壳涂层耐冲刷抗烧蚀性研究

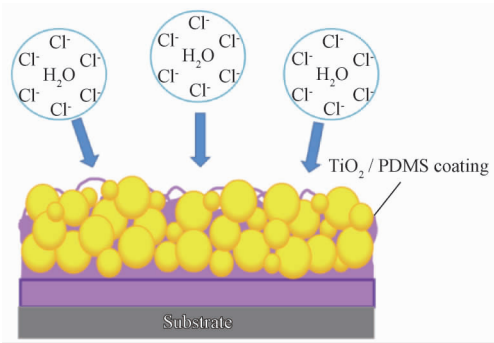
鞠治刚 王法灵 江长友 陈 露 秦克斌 陈 杰



摘要: 铝合金弹壳是实现弹药轻量化的重要途径之一,耐冲刷抗烧蚀涂层是大口径铝合金弹壳完成作战使命的有力保障。针对 7050 铝质弹壳的“氧化陶瓷-有机硅树脂”复合涂层耐冲刷抗烧蚀性展开研究:采用 SEM 观察实弹射击前后复合涂层形貌变化,利用 ICP 法分析氧化陶瓷层的组成,测试涂层的耐热性、隔热性、结合力等耐冲刷抗烧蚀考核指标。研究表明:复合涂层在高温高压的火药气体冲刷作用下,没有出现剥离脱落,铝质弹壳基体未见任何烧蚀,涂层表现出良好的耐冲刷抗烧蚀效果;氧化陶瓷底层由 Al_2O_3 、 MgO 、 ZnO 、 CuO 四种高熔点的氧化物组成,具有较高的耐热性;复合涂层可使整体导热系数降低 50% 以上,隔热性良好;复合涂层与基体结合力达到 0 级。研究成果可为进一步优化大口径铝质弹壳涂层制备工艺、探究铝质弹壳涂层耐冲刷抗烧蚀机理奠定基础。

53 碳钢表面防腐超疏水 TiO_2/PDMS 涂层的制备及性能

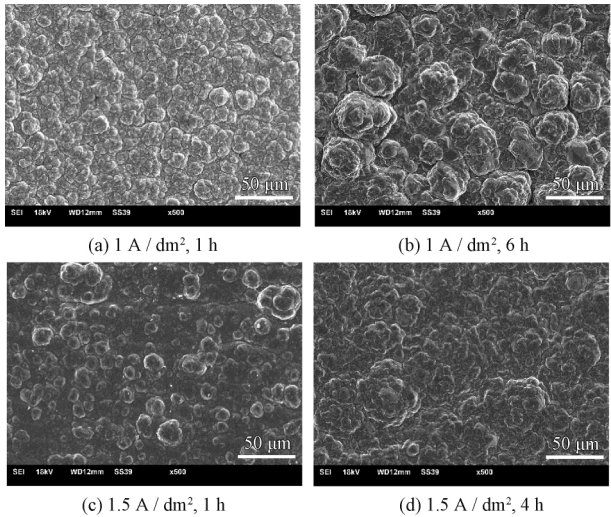
薛鑫宇 尹正生 蒋永锋 包晔峰 杨 可



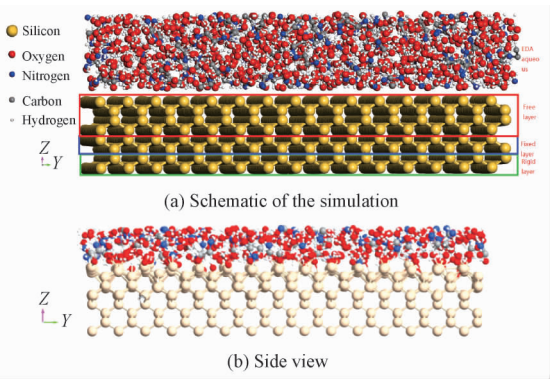
摘要: 针对碳钢腐蚀电位相对更负、更容易发生腐蚀的特点,在 Q235 钢表面制备超疏水 TiO_2/PDMS 涂层以提高其耐腐蚀性能。采用表面活性剂分散纳米 TiO_2 并进行改性,然后与 PDMS 混合,用溶胶凝胶法在 Q235 钢表面制备有聚二甲基硅氧烷(PDMS)过渡层的 TiO_2/PDMS 超疏水涂层。借助扫描电镜(SEM)、接触角测量仪、红外光谱(FT-IR)及 X 射线衍射仪(XRD)表征其表面涂层的表面形貌、化学成分及疏水性能,用电化学试验和浸泡试验测试其防腐性。结果表明: TiO_2/PDMS 涂层表面具有独特的微纳结构,与水的接触角达到 154.3° ; 其腐蚀电位由碳钢的 -0.77 mV 正移至超疏水涂层的 -0.24 mV ,腐蚀电流密度则下降两个数量级,即从 $5.02 \times 10^{-6}\text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ 下降至 $3.95 \times 10^{-8}\text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$; 超疏水涂层的交流阻抗值高于碳钢基底 3 个数量级。经过 7 d 的 3.5wt.% NaCl 溶液浸泡,超疏水涂层并未发生失重。制备的 TiO_2/PDMS 超疏水涂层具有超疏水效果和良好的长期耐腐蚀性。

60 电流密度对电沉积铜膜剩余电阻率的影响

张 帅 罗积润 王小霞 张 瑞 吴质洁 冯海蛟



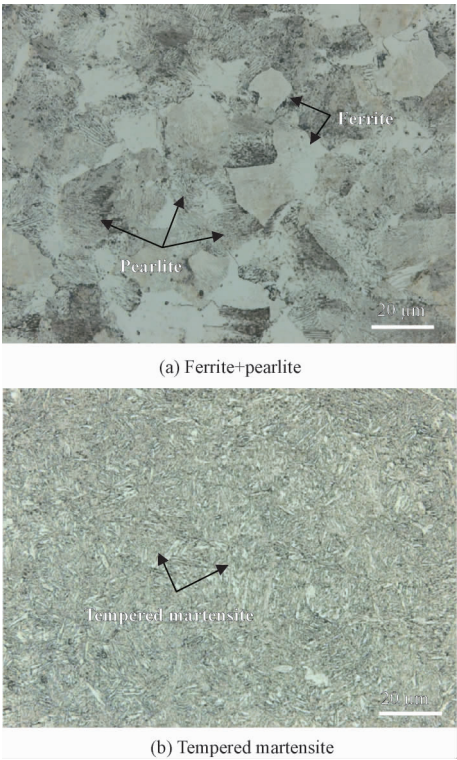
摘要: 为了获得 1.3 GHz 功率耦合器的镀铜膜,研究不同电流密度和沉积时间对镀铜膜剩余电阻率(RRR)的影响。电流密度分别为 1、1.5 和 2 A/dm^2 ,沉积时间为 1~6 h,讨论了铜膜 RRR 值、微观形貌、表面粗糙度和织构随镀层厚度的变化。结果表明,随着电流密度减小和沉积时间延长,表面粗糙度变大,铜膜 RRR 值增大。在电流密度为 1 和 1.5 A/dm^2 下沉积的铜膜,随着沉积时间的增加,晶胞结节变大,(111)晶面的织构系数增加,铜膜 RRR 值变大。在电流密度为 2 A/dm^2 下沉积的铜膜中含有孔洞缺陷,导致铜膜的 RRR 值显著下降。硬 X 射线自由电子激光装置的 1.3 GHz 功率耦合器的铜膜采用电流密度为 1 A/dm^2 ,沉积时间为 4 h 的镀铜工艺,其铜膜 RRR 值、铜膜与基体结合力、高低温适应性以及微波功率均满足实际工程应用。



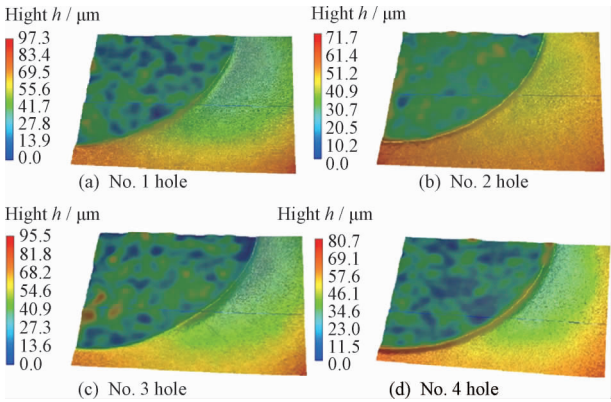
摘要: 利用胶体二氧化硅在胺的辅助下对硅片进行抛光是微电子工业中的一种典型制造工艺,其动力学过程仍然不清楚。研究了在硅抛光中加入不同浓度乙二醇 (EDA) 对抛光速率的影响,结果表明 EDA 浓度提高时,硅的抛光速率逐渐增大,并且在质量分数 5% 时增加 74.5%。为了揭示其中的作用机理,对 EDA 和 Si 在水中的电离性质作了分析,对硅片表面在 EDA 碱性溶液中的接触角以及 Si 经过 EDA 溶液浸泡后的表面作了 X 射线光电子能谱 (XPS) 测试,进一步采用基于反应力场的分子动力学模拟了动态反应过程。分析表明 EDA 和硅片表面不仅有强烈的库仑吸附作用,且 Si 和 EDA 通过 Si-N 进一步形成化学键,其中 EDA 中的 N 原子与硅表面原子能形成两种结构,使附近的 Si-Si 和 Si-O 键极化。基于这些测试,最终解释了硅在含有 EDA 碱性抛光液中的抛光动力学过程,此作用机制为硅衬底加工的抛光液研制提供一定的技术指导。

74 组织状态对 45CrNiMoVA 钢超声滚压表面完整性的影响

栾晓圣 梁志强 赵文祥 陈一帆 李宏伟 刘心蓁 周天丰 王西彬



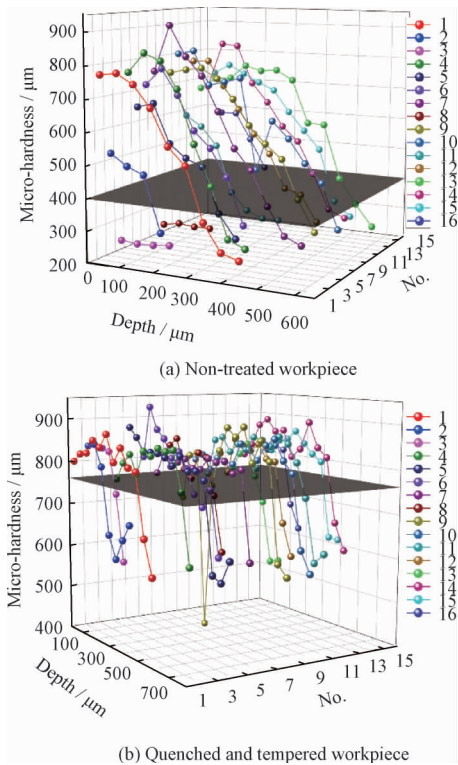
摘要: 针对组织状态对超声滚压 (USRP) 表面完整性影响规律不明的问题,分别对铁素体+珠光体和回火马氏体两种组织状态下的 45CrNiMoVA 钢进行 USRP 试验,结合两种组织状态下材料动态力学性能的差异,对表面形貌及表面粗糙度、表层显微硬度、残余应力和表层微观组织进行对比分析。结果表明,较软组织状态下的材料在 USRP 作用下更容易实现表面光整效果,表层材料更容易发生塑性变形,导致形成更明显的表层硬化效果,但是难以形成更高幅值的残余压应力; USRP 在 45CrNiMoVA 钢表层引入的残余压应力幅值与其组织强度大小成正比,回火马氏体组织状态下表层残余压应力易呈“勺形”分布,最大残余压应力出现在亚表面,达到-1 272 MPa,铁素体+珠光体组织状态下表层残余压应力易呈“梯度”分布,最大残余压应力出现在表面,达到-694 MPa; 体心四方 (BCT) 晶体结构的组织在 USRP 作用下更容易发生晶粒细化,而体心立方 (BCC) 晶体结构的组织在 USRP 作用下以塑性变形为主。以上规律可用于指导不同组织状态下材料加工表面完整性的精准调控。



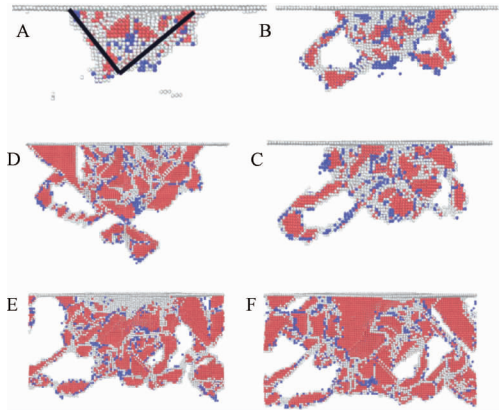
摘要: 为解决镍基高温合金 GH3128 群孔切出毛刺难去除的问题,基于磁粒研磨法开展毛刺去除试验研究。对镍基高温合金 GH3128 钻孔加工后孔缘毛刺进行分类,基于磁粒研磨法分析典型毛刺去除机理,并提出群孔毛刺去除的研磨轨迹和磁极形状初步方案。开展磁粒研磨群孔试验研究,分析主轴转速和磨粒平均粒径对切出毛刺去除的影响。结果表明:在主轴转速为 1 500 r/min、磁性磨粒平均粒径 250 μm 、进给速度 2 mm/s、磁性磨粒填充量 30 g、加工间隙 2 mm 的加工条件下,研磨 40 min 后,群孔切出毛刺平均高度由原始的 141 μm 降至 20.5 μm ,毛刺的平均宽度从原始 350 μm 降至 163 μm 。规划研磨轨迹、磁极开矩形槽以及优化研磨参数的方法,使镍基高温合金 GH3128 群孔切出毛刺得到了很好的去除,此加工方案可为群孔切出毛刺的去除提供参考。

90 基于近似工况映射模型的盾构滚刀调质-激光表面淬火复合工艺硬化预测

吴剑钊 任亚平 郭洪飞 张超勇 程鸿武 唐莉梅



摘要: 表面硬度是盾构滚刀的重要参数,直接影响到刀具的使用寿命、工程效率和施工成本,鲜有研究运用相似工况下的数据进行显微硬度的预测。以盾构滚刀特种钢为对象,分别对经锻造且球化退火处理的工件(普通工件)以及再经调质处理后的工件(调质工件)进行激光表面淬火,提出一种基于近似工况映射模型的硬化效果预测方法。首先,测量普通工件和调质工件在激光表面淬火后的显微硬度,分别确定其高硬度区的特征参数(深度、宽度)。然后,建立激光工艺参数与普通工件高硬度区特征参数之间的 Kriging 模型,并采用最小二乘法和残差拟合补偿,建立激光工艺参数关于调质工件高硬度区特征参数的映射模型。最后,采用留一法对该映射模型的预测精度进行验证。结果表明,该映射模型实现了显微硬度的有效预测,相比基于单一工况数据的近似模型,具有较好的预测精度。所提出的映射模型可充分运用两种相似工况下的先验数据,从而进行有效的数据预测。

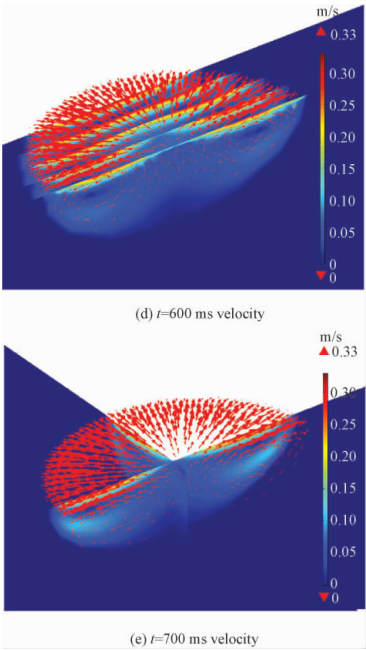


摘要: 对微机电系统金属铜膜接触变形特征的了解和位错原子迁演的寻迹对改善工况接触质量极为重要。基于分子动力学法,对球面触点与微器件铜膜的接触变形展开研究,分析铜膜力-位移曲线对应构型演变特征,用WSDA法描述接触变形特性,并比对触点轮廓对铜膜内、外表面的变形差异。研究表明:弹性接触时,力-位移曲线的Hertz理论与MD结果吻合,而接触区铜膜两侧的位错环凸显是塑性变形始发源与侧面滑移带产生的萌芽端,也是弹性阶段后的Hertz理论与MD的力-位移曲线不吻合主因。受载铜膜的位错原子会演化为位错环,位错环构型演变有4个动态阶段:位错环萌芽期、生长增大期、繁衍增殖期、维持稳定期。随着触点轮廓增加,位错环构型也相应扩张,而位错环演化4个阶段不受外围轮廓影响。另外,受载铜膜接触区两侧滑移带蔓延处的应力较集中,亚表层应力集中度强烈依赖于触点外围轮廓尺寸。验证了WSDA法可有效描述铜膜受载时的变形特征,并随触点轮廓增加而迅速向两侧蔓延传播,与受载铜膜的应力、应变趋势获得一致。研究结果将对微观金属弹塑性变形转化的微观临界态揭示中有着重要参考价值。

107 油润滑条件下各向同性热解石墨/GH4169 的摩擦学行为

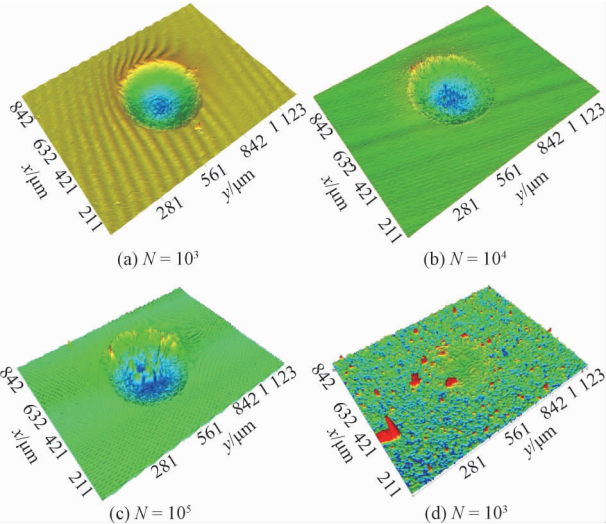


摘要: 各向同性热解石墨由于具有优异的力学性能以及极低的孔隙率,在机械密封领域具有广泛的应用前景,但目前针对各向同性热解石墨的摩擦磨损试验开展较少。采用MMW-10环-盘端面摩擦磨损试验机,通过改变转速和载荷,对各向同性热解石墨与GH4169配副的摩擦学行为进行研究。结果表明:在油润滑条件下,随着转速的增加,各向同性热解石墨的摩擦因数与磨损率呈现出先减小后增加的趋势,200 r/min时获得最小值;而摩擦因数与磨损率随载荷的增加逐渐减小,2 kN时获得最小值,且载荷对磨损率的影响更加明显。各向同性热解石墨的磨损形式主要为类抛光、擦伤及犁沟。各向同性热解石墨的润滑机理与液体膜的形成以及摩擦配副表面的接触特性密切相关。揭示了各向同性热解石墨在油润滑条件下的磨损机制以及润滑机理,为其在机械密封领域的应用提供和积累了参考依据。



摘要: 埋弧堆焊是冶金行业轧辊修复的重要方法,目前多是对轧辊埋弧堆焊过程中温度场或应力场的单一场进行研究,而埋弧堆焊流场的研究极少。堆焊中的电磁力、温度梯度与熔池内流动密切相关,基于热-弹-塑性理论和流体动力学计算方法(CFD),建立轧辊堆焊过程热-弹-塑-流多场耦合模型,获取堆焊过程温度场、应力场和流场的演变规律,分析表面张力、电磁力、浮力对堆焊熔池流动状态及形貌的影响规律,同时对堆焊工艺进行材料学表征分析。研究成果对预测埋弧堆焊过程多物理场的变化规律、熔池流场演变机理和有效预防堆焊开裂具有一定的实践意义。

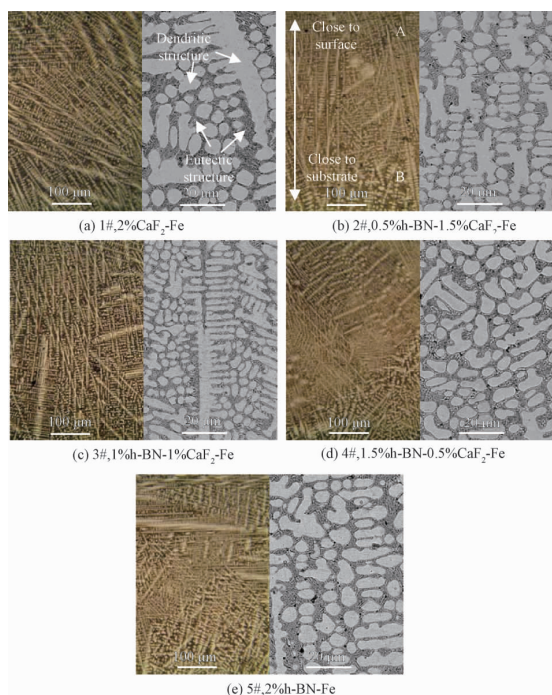
129 DZ2 车轴钢离子渗氮层的冲击磨损损伤演变研究



摘要: 为解决变轨距高速列车转向架轮轴花键配合面承受加载时的冲击磨损问题,对 DZ2 车轴钢进行离子渗氮强化处理。采用一系列宏/微观方法表征离子渗氮表层相结构、表面形貌、显微组织及硬度梯度,并对渗氮层及调质态基体的冲击磨损动力学响应及损伤行为进行研究。结果表明:两类状态的试样抗冲击磨损性能差异显著,在相同冲击动能下,离子渗氮层的能量吸收率低于调质态材料,DZ2 车轴钢离子渗氮后比原始调质态具有更好的耐冲击磨损性能。DZ2 调质态材料以剥层磨损为主,接触区域摩擦氧化显著;离子渗氮表面损伤轻微,仅局部材料磨损剥落,摩擦氧化现象不明显。随冲击周次的提高,调质态材料磨损损伤加剧,损伤区域出现大量表面微裂纹和氧化磨屑堆积,而经离子渗氮处理材料损伤较轻微,冲击磨损表面未观察到裂纹萌生。离子渗氮工艺能有效增强变轨距车轴的抗冲击磨损性能。

139 车轮材料表面 h-BN/CaF₂/Fe 基激光熔覆涂层组织与磨损性能

丁昊昊 慕鑫鹏 祝毅 杨文斌 肖乾 王文健 郭俊 刘启跃

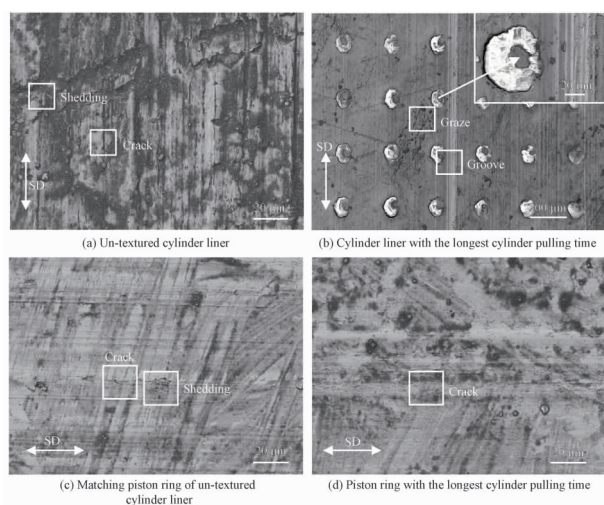


摘要: 激光熔覆铁基合金涂层的摩擦因数及磨损率均较高, h-BN 和 CaF₂ 作为固体添加剂已应用于激光熔覆处理, 然而含 h-BN 和 CaF₂ 的铁基熔覆涂层在列车车轮材料表面的磨损性能及最佳含量尚不清楚。因此, 以不同比例的 h-BN (0~2%)、CaF₂ (2%~0) 和 Fe 基合金 (98%) 粉末为熔覆材料, 在列车车轮材料表面制备合金涂层, 对激光熔覆车轮试样进行滚动摩擦磨损试验。结果表明: 涂层微观组织主要由枝晶组织和共晶组织构成, 硬度约 800 HV_{0.3}, 表面存在残余压应力, 其值为 800~1 300 MPa。加入 h-BN 粉末可将黏着系数降低至 0.35~0.39, 激光熔覆车轮试样表面以滚动接触疲劳损伤为主, 裂纹在表面产生并在塑性变形层内扩展。随 h-BN 含量增加和 CaF₂ 含量减小, 微观组织尺寸、黏着系数、磨损率、滚动接触疲劳裂纹长度和深度均呈先减小后增加趋势。h-BN、CaF₂ 和 Fe 基合金质量比为 1%:1%:98% 时, 涂层微观组织最致密、残余压应力最大、耐磨与抗疲劳性能最优。研究结果可为激光熔覆技术在列车车轮上的应用与优化提供理论与技术指导。

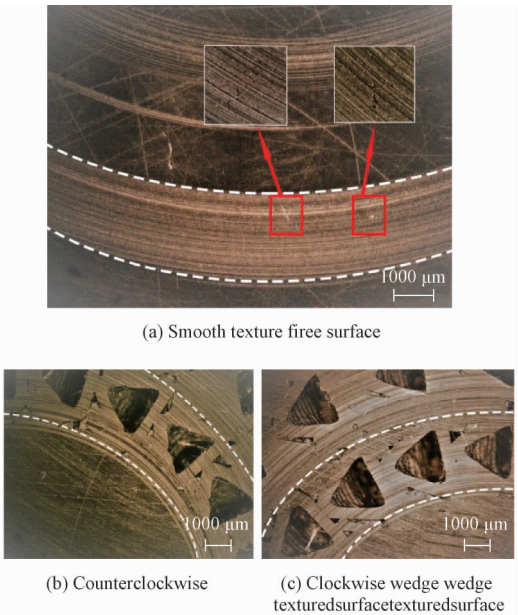
技术应用

149 激光表面织构微坑形貌及面积占有率对氮化气缸套摩擦学性能的影响

徐阳阳 韩晓光 徐久军 单英春 陈玉珍 黄若轩



摘要: 针对氮化气缸套由于自身存在表面应力高、易变形等使其难以满足高强度内燃机气缸套要求的问题, 以氮化气缸套-PVD 活塞环为研究对象, 采用 Nd-YAG 脉冲激光器在氮化气缸套表面进行织构化处理, 研究脉冲激光参数对气缸套表面微织构微坑形貌及面积占有率对摩擦副摩擦磨损性能的影响, 并分析其影响机制。发现织构微坑直径随激光能量密度、脉冲次数、离焦量增加而增大, 而微坑深度随能量密度、脉冲个数、离焦量的增加呈先增大后减小的趋势。不同面积占有率织构对气缸套-活塞环摩擦副均具有减摩耐磨作用, 与无织构缸套摩擦副相比, 微织构气缸套的摩擦因数降低 10.07%~1.58%; 磨损量降低 26.71%~46.19%; 微织构气缸套对应的活塞环试样磨损量降低 10.12%~50.19%; 微织构气缸套的拉缸时间提高了 2.1~2.8 倍。最低摩擦因数和磨损量及最佳抗拉缸性能均在面积占有率为 10% 的织构摩擦副获得。微织构改善气缸套摩擦副摩擦磨损性能的机制为贮存润滑油, 减少摩擦副接触面积以及捕捉磨屑, 减小磨粒磨损。获得了高强度条件下氮化气缸套织构化对其摩擦学性能的影响规律, 可为开发高强度内燃机提供试验支持。



摘要: 为了制备出复杂、非对称的楔形三角织构,并验证织构具有减摩效果,以期此种表面织构在发动机部件中良好应用提供理论支持和技术指导,以丙烯腈-苯乙烯-丁二烯 (ABS) 高分子材料为样品,利用 3D 打印技术 (FDM) 分别加工出具有楔形凹坑表面试样与光滑表面试样。在 MRTR-1 摩擦磨损试验机上进行回转式销-盘摩擦磨损试验,用体式显微镜观察工作表面的磨损形貌,通过 Fluent 有限元软件模拟仿真润滑油膜内部压力,并对仿真结果进行验证。研究结果表明,与光滑无织构试样相比,表面楔形织构试样均有不同程度的减摩效果,且当尺寸为 2.7mm 和面积占有率为 15.94% 时减摩效果最明显。尺寸 2.7 mm,固定转速 150 r/min,10 N 载荷和 5 N 载荷工况下,顺时针楔形织构的摩擦因数比逆时针楔形织构的摩擦因数低。这是因为在润滑油流动方向上,非对称织构也呈现出不同的流体动压效应,顺时针楔形织构比逆时针楔形织构流体动压力更大,承载力更高,减摩效果也就更好。可为复杂形状表面织构的制备与应用提供良好的理论支持与技术指导。

CONTENTS

- 1 Recent Progress in the Surface Modification of Bone Implant Using Plasma Spraying Technique**
WU Ben CHEN Xiaoyi LU Huaifeng ZHAO Xiaobing WANG Guocheng
- 12 Development Status and Prospect on Equipment Application of Thermal Spray Technology**
CHEN Yongxiong LUO Zhenggang LIANG Xiubing HU Zhenfeng HUANG Hao
- 19 Effect of Element Doping on the Tribological Properties of Diamond-like Carbon Films**
GUO Peilin JIA Qian MENG Shuwen LIU Guangqiao LAI Zhenguo WEN Xinyu ZHANG Bin
- 30 Effects of Nano- Al_2O_3 on the Microstructure and Properties of ZrC-ZrSi_2 Composite Coating Prepared by Plasma Spraying**
SHAO Yuxuan WANG Lei YANG Yong ZHAO Cece WANG Yanwei MA Yuduo CUI Yuhang
- 38 Preparation and Performance Analysis of Lubricating and Corrosion-resistant Composite Coating on Aluminum Alloy Surface**
XIAO Jintao JU Pengfei ZANG Xusheng XING Mingxiu ZHOU Hong XU Zhou LI Zhongjian
- 46 Scouring and Ablation Resistance of 7050 Aluminum Cartridge Case Coating**
JU Zhigang WANG Faling JIANG Changyou CHEN Lu QIN Kebin CHEN Jie
- 53 Preparation and Properties of TiO_2 /PDMS Anticorrosion Superhydrophobic Coating on Carbon Steel**
XUE Xinyu YIN Zhengsheng JIANG Yongfeng BAO Yefeng YANG Ke
- 60 Effects of Current Density on Residual Resistivity Ratio of Electrodeposited Copper Films**
ZHANG Shuai LUO Jirun WANG Xiaoxia ZHANG Rui WU Zhijie FENG Haijiao
- 67 Mechanism Study on Silicon CMP Using Ethylenediamine**
WANG Haibo JIANG Xianwei
- 74 Effect of Microstructure on Surface Integrity of 45CrNiMoVA Steel by Ultrasonic Surface Rolling Process**

LUAN Xiaosheng LIANG Zhiqiang ZHAO Wenxiang CHEN Yifan LI Hongwei LIU Xinli
ZHOU Tianfeng WANG Xibin

82 Study on Exit Burrs in Group Holes of Nickel-based Superalloy by Magnetic Abrasive Finishing
DING Haodong ZHANG Guofu JIAO Anyuan HAN Bing

90 Hardening Prediction of Quenching and Tempering-laser Surface Quenching Hybrid Process on Shield Disc Cutter Using a Mapping Model for Similar Working Condition
WU Jianzhao REN Yaping GUO Hongfei ZHANG Chaoyong CHENG Hongwu TANG Limei

99 Effects of Mechanism Analysis for Spherical Contact Pair on Contact Deformation in Copper Film from Nano-perspective
CHEN Jingjing WENG Shengbin WU Hao

107 Tribological Behavior of Isotropic Pyrolytic Graphite/GH4169 under Oil Lubrication
CHEN Jianhang GAO Siyang WANG Peng XUE Weihai DUAN Deli LI Shu

117 Multi Field Coupling Numerical Simulation of Roll Submerged Arc Surfacing Process
LI Chang HUANG Qingchun CHEN Xinxue LIU Zhaotai HAN Xing

129 Impact Wear Evolution Behavior of Plasma Nitriding Layer of DZ2 Axle Steel
REN Yanping HE Jifan CAI Zhenbing PENG Jinfang LI Zhongwen
LU Jinsheng ZHU Minhao

139 Microstructures and Wear Properties of h-BN/CaF₂/Fe Based Laser Claddings on Wheel Material Surface
DING Haohao MU Xinpeng ZHU Yi YANG Wenbin XIAO Qian WANG Wenjian
GUO Jun LIU Qiyue

149 Effect of Surface Texture Micro-pit Morphology and Area Density on Tribological Properties of Nitrided Cylinder Liner
XU Yangyang HAN Xiaoguang XU Jiujun SHAN Yingchun CHEN Yuzhen HUANG Ruoxuan

158 Friction Performance of Wedge-shaped Texture on the Surface of 3D Printed ABS Materials
YIN Hongze CHEN Wengang LI Rongbing WU Huajie JING Peiyao CHEN Long
SONG Wentao XIE Yong