

机械工程学报®

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

封面文章：基于改进PCANet模型的铣刀磨损预测方法研究

作者：段暎 周宏娣 刘智勇 詹小斌 梁健强 史铁林

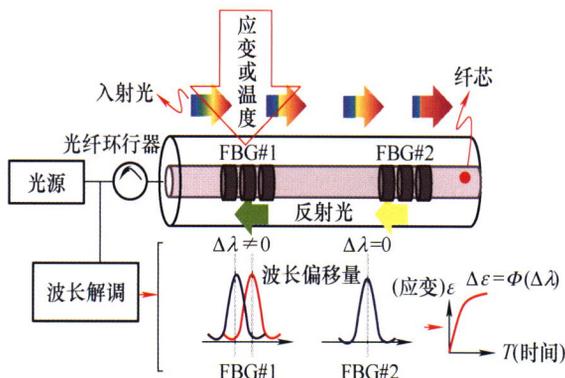
AI

59卷 1 期 半月刊
2023年 1 月刊

/// 机器人及机构学 ///

1 连续体手术机器人光纤导航技术现状和展望

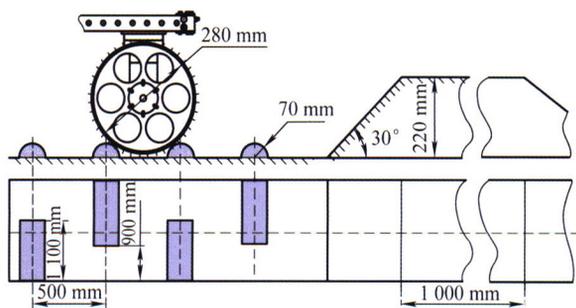
孙广开 何彦霖 于洋 韩静 赵冠棋 周康鹏 祝连庆



摘要: 连续体机器人在微创介入手术中逐渐得到广泛应用,其精准导航控制成为医学影像和手术机器人领域的研究热点和难点。光纤导航被视为最具潜力的连续体机器人导航技术之一。经过四十多年的研究发展,国内外在相关理论和方法、技术与系统和临床试验等方面都取得了较大进展,推动了该技术的临床应用。但是,目前仍然存在若干问题限制了该技术的应用发展,亟待探讨解决方法。为此,梳理了光纤导航技术的发展历程,分析了光纤导航的主要技术类型、技术优缺点和关键核心算法,指出了需要研究解决的关键问题,并从高精度定位、力触觉信息反馈、多模态影像融合识别、智能化和产品化等方面探讨了未来发展方向。

19 面向熔岩管探测的星球子车及其参数化设计方法研究

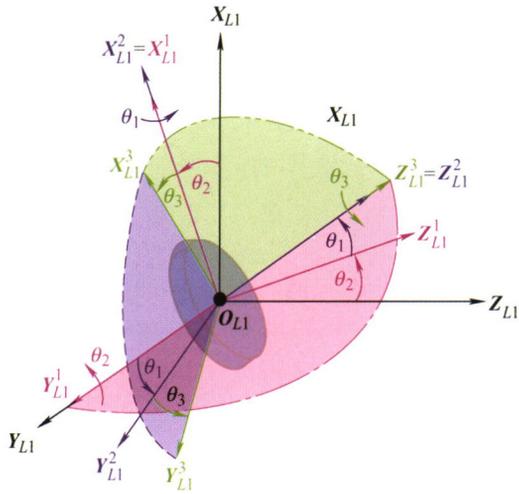
黄澜 于兆玮 丁亮 杨怀广 高海波 邓宗全 杨辰光



摘要: 星球熔岩管是进入星球地下的捷径,具有较高的科学探测及资源勘探价值。提出了一种新型系绳星球熔岩管探测子车,并开展其参数化设计研究。面向熔岩管管口大坡度斜坡绳索释放回收问题以及熔岩管内探测车转向问题对系绳轮式移动机构进行了构型设计。基于地面力学理论,考虑三轮移动系统在熔岩管口周围及管底堆积区松软地形内移动能力,以及探测车在崎岖硬质熔岩管内壁中的几何通过性、平稳性和抗颠覆性等因素对系绳三轮移动系统进行了参数优化设计。在模拟外星球地表环境中的仿真和试验结果表明,使用提出的优化设计方法设计出来的星球车完全满足预定的技术要求,相比于参数优化之前具备更强的移动性能,并可为四轮、六轮等多轮星球车参数化设计提供有益借鉴。

35 基础运动对漂浮式风电机组齿轮箱传动系统附加激励的影响

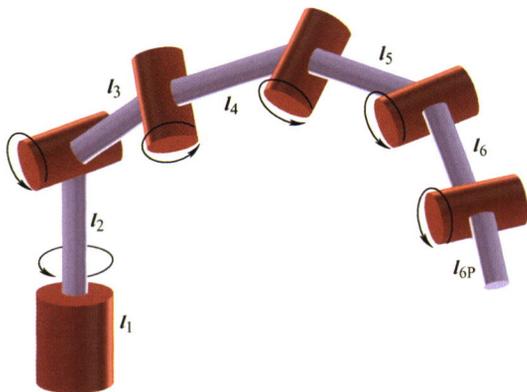
谭建军 朱才朝 李浩 宋朝省 董晔弘



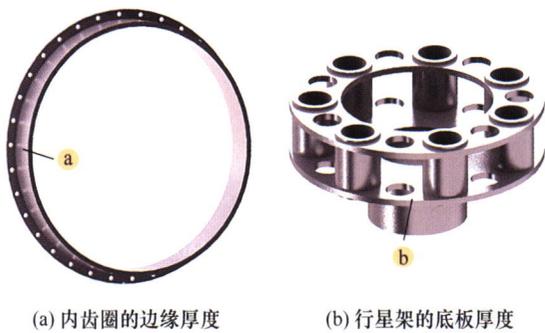
摘要: 风电齿轮箱传动系统是漂浮式风电机组中传递力与运动的关键传动装置, 受到频繁的基础运动影响, 振动特性复杂。提出一种适用于非惯性坐标系下六自由度基础运动与含公转/自转运动构件六自由度振动位移的耦合建模方法, 并利用集中参数法和拉格朗日方程建立了风电齿轮箱传动系统动力学模型, 分析了基础运动对构件产生的附加激励以及振动响应影响。研究表明: 基础运动会产生时变的附加参数激励, 这些附加激励的特征频率主要以系统自身特征频率与基础运动频率及其倍频的组合频率为主; 作用在构件上的附加激励幅值与纵荡、纵摇基础运动幅值及其频率呈现非线性关系, 纵荡、纵摇基础运动的幅值越大、频率越高, 附加激励中纵荡与纵摇运动之间的耦合效应也愈明显; 基础运动会增大构件的径向与轴向振动响应, 使其出现与基础运动频率相关的特征频率。

50 一种高精度求解多轴机器人逆运动学的方法

陈菲菲 居鹤华 刘潇晗



摘要: 提升多轴机器人逆运动学的求解精度与速度是保证机器人轨迹规划与实时控制性能的基础, 也是机器人领域密切关注的难题。提出一种高精度、高效率地求解 3 至 6R 串联机器人逆运动学的方法。首先, 将用于描述机器人位置与姿态的旋转变换阵与单位四元数采用半角正切的形式表达, 建立与关节角度无冗余的机器人位姿方程。其次, 分析 Dixon 结式求解多元高阶多项式的方法, 将其应用于求解 3R 与一般 6R 机器人的逆运动学解析解。利用多项式环的特性处理矩阵, 能够有效避免计算奇异性的产生。通过分析以矢量表达的 Dixon 矩阵, 消去矩阵中的一些无效项, 降低矩阵的阶数, 避免阶次组合爆炸问题的发生。仿真实例表明, 任意可达姿态下, 6R 机器人的逆运动学解一般能达到 8 组, 这一多解的性能提升机器人的灵巧度。一般 6R 机器人逆解的单次计算时间不高于 4 ms, 位置及姿态误差(相对)均小于 10^{-15} , 验证所提出的逆解方法的实时性和精密性。本文所做工作为精密操作机器人的运动学研究提供了理论依据。



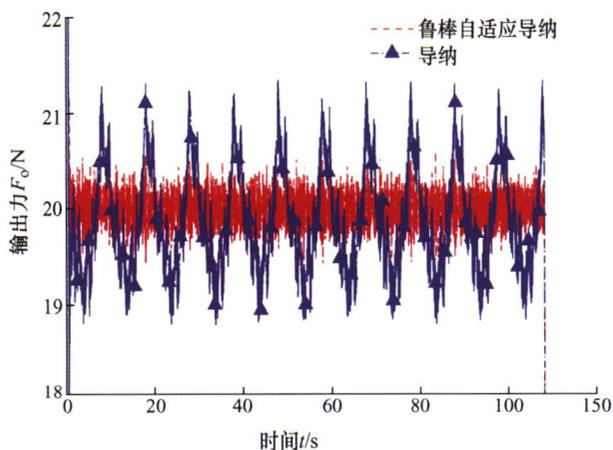
(a) 内齿圈的边缘厚度

(b) 行星架的底板厚度

摘要: 大型航空行星机构作为多种重型航空器传动系统的基础与核心, 它的可靠性水平在很大程度上制约着航空器的经济可承受性与服役安全性。将某型号重型直升机行星机构作为研究对象, 以保证和提高该系统的疲劳可靠性水平为目标, 利用层级有限元法计算系统全局弹性行为耦合作用下的轮齿疲劳载荷历程, 并基于齿轮低周疲劳试验与最小次序统计量转化方法拟合出轮齿概率疲劳强度, 为系统可靠性预测模型提供经济有效的载荷与强度输入变量。据此, 建立从大型航空行星机构关键结构要素到系统可靠性指标的映射路径, 提出可靠性驱动的行星机构结构尺寸多目标优化设计新方法。最后, 分析了内齿圈轮缘厚度与行星架基板厚度对行星轮系疲劳可靠性的影响规律, 并得到了指定型号的大型航空行星机构的轮缘与基板尺寸最佳刚度匹配结果, 最大限度地发挥了核心结构要素的刚度潜力, 以此平衡大型航空行星装备在可靠性与轻量化要求之间的矛盾。

71 三平动力控末端执行器鲁棒自适应力跟踪导纳控制方法

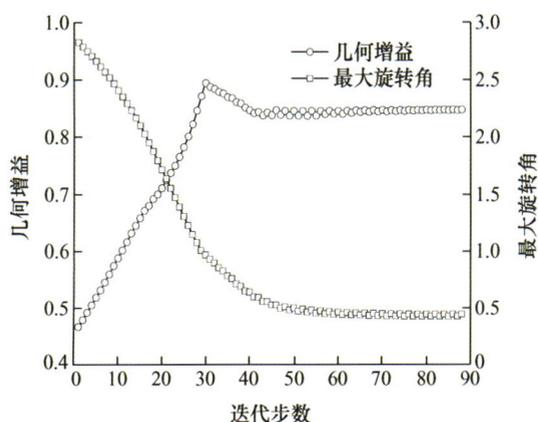
张国龙 杨桂林 邓益民 王慰军 方灶军 陈庆盈 朱任峰 杨凯盛



摘要: 针对现有重载工业机器人缺乏力控功能而难以满足去毛刺、倒角和磨抛等连续接触式作业要求的问题, 提出一种含氮气弹簧的气电直驱式 3-P(UU)_2 型三平动力控末端执行器, 采用鲁棒自适应力跟踪导纳控制算法实现操作空间中接触面法向输出力的快速跟踪, 适用于工件内外侧面、孔洞和狭小结构的机器人磨抛等过程。建立机构正逆运动学与气电直驱致动器动力学模型, 并设计了鲁棒自适应力跟踪导纳控制器。实验结果表明, 基于鲁棒自适应力跟踪导纳控制的三平动力控末端执行器力阶跃响应的稳态误差为 -4.5×10^{-4} N, 上升时间 19.27 ms, 可实现力的快速精确跟踪; 负载冲击下力的调整时间 116.0 ms, 最大超调量 57.5%, 具有良好的缓冲吸振特性与鲁棒性; 在平面往复运动与圆柱面连续运动工况下, 力均方根误差 0.143 N, 冲击峰值均值 0.694 N, 对不同材质工具磨头的接触刚度变化与环境位移误差的适应性好, 可提升工业机器人的连续接触式作业质量并拓宽其应用范围。

82 基于转动约束策略的柔顺机构拓扑优化

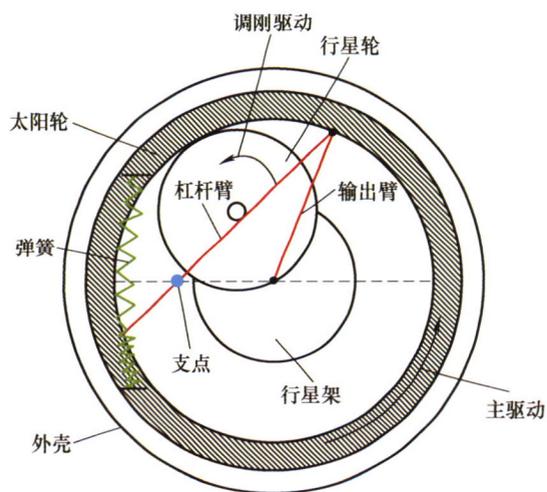
乔赫廷 武双双 闫明 汤赫男 蔡高源



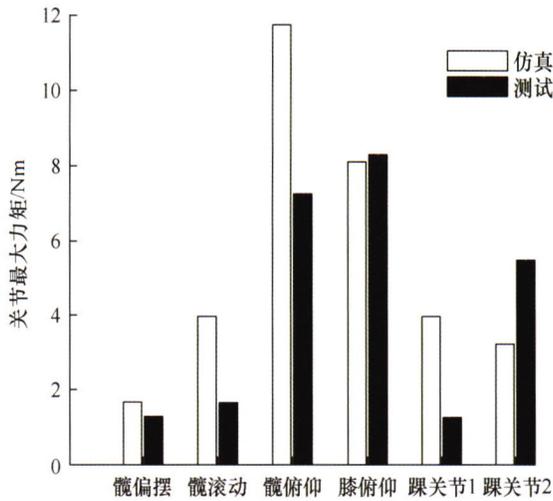
摘要: 柔顺机构在航天航空、生物医疗、及仿生机器人等高科技领域的精密微机械系统中拥有巨大的应用潜力。目前, 拓扑优化是柔顺机构构型设计的主要方法之一。为了解决传统柔顺机构拓扑优化设计中存在虚铰的问题, 首先, 将旋转角引入柔顺机构构型设计中, 以旋转角为观测指标, 分析拓扑优化结果中存在虚铰的原因。其次, 通过约束设计域内的旋转角平方的平均值不超过许用值, 建立无铰链式柔顺机构拓扑优化模型, 并且利用伴随法推导与之相应的灵敏度分析列式。最后, 采用反向位移机构与柔性夹钳这两个经典算例的拓扑优化设计验证了所提优化模型的可行性和有效性。研究表明: 基于转动约束策略获得的具有类桁架构型无铰链式柔顺机构, 虽然在输入位移与输出位移方面表现出一定程度的减少, 但避免了局部应变过大、应力集中问题的出现。

91 基于差动轮系的变刚度执行器及变刚度柔性手爪

龙奕琳 王彬峦 金弘哲 徐威铭 赵杰

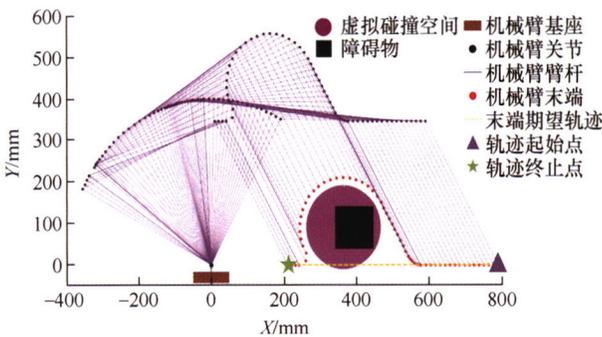


摘要: 结合差动轮系和杠杆原理设计了一种调刚范围从 $0 \sim +\infty$ 的变刚度执行器, 并完成了其结构优化设计和调刚能耗优化设计。该变刚度执行器具有变刚度范围大, 调刚能耗需求低, 占用空间小, 易控制, 响应速度快, 可靠性强, 技术实现可行性高等优点, 具有一定的实际应用意义。在此基础上设计了一款欠驱动变刚度柔性手爪, 将变刚度执行器作为手爪关节的驱动单元, 通过调节变刚度执行器的刚度来改变手爪的刚度。最后, 搭建了变刚度柔性手爪的硬件平台, 对变刚度执行器进行了刚度测量, 验证了所设计的变刚度执行器在进行刚度调节上的可行性。进行了变刚度柔性手爪的力控制实验, 成功实现了对柔软物体的抓取。对变刚度柔性手爪的单指进行了性能分析, 并验证了手指刚度与变刚度执行器刚度呈正相关关系, 完成了变刚度柔性手爪性能实验验证。



摘要: 探究高动态性能双足机器人对腿部设计的要求, 阐明机器人腿部设计准则、设计方案和实现措施。提出一种腿部串并联新构型方案, 膝关节驱动器上移到髋关节, 踝关节驱动器上移到膝关节, 膝关节驱动器通过简化五连杆机构将运动传递到膝部, 踝关节驱动器通过并联四连杆机构将运动传递到踝部。对踝关节并联机构和整个腿部关节进行运动学正逆解, 建立新构型机器人的仿真模型。考虑运动控制算法, 完成机器人动力学仿真。测试准直驱驱动器性能, 并完成串并联构型腿部样机试验验证, 机器人可实现 0.4 m/s 的行走速度。结果表明, 提出的腿部串并联新构型与传统串联构型比具有更高的运动性能, 新构型机器人性能在真机测试中得到验证。该串并联新构型方案在双足机器人和其它服务机器人领域具有广阔的应用前景。

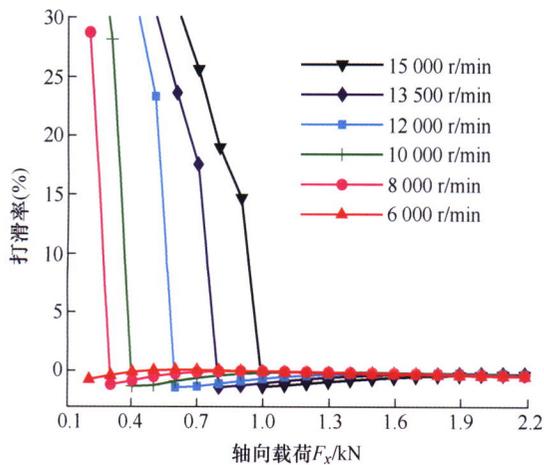
113 基于二分试探的平面冗余机械臂碰撞检测与避障



摘要: 针对协作机械臂与未知环境安全交互问题, 提出基于二分试探的平面冗余机械臂碰撞位置检测与虚拟碰撞空间估计方法, 基本思想为碰撞臂杆绕选定二分点旋转微小角位移, 期间根据关节电流信息判断是否发生进一步碰撞, 从而确定碰撞位置所处二分区间, 以此迭代试探缩小碰撞位置估计误差至可接受范围。建立冗余机械臂碰撞臂杆以选定二分点为不动点的逆运动学模型, 解决机械臂二分试探运动控制问题; 通过简化改进二阶前馈外力观测器, 建立基于关节电流的快速碰撞检测算法; 根据碰撞位置与碰撞臂杆位姿信息, 建立基于包络法的虚拟碰撞空间模型, 以近似表征障碍物空间信息。仿真与实验结果表明, 所提出的基于二分试探的碰撞位置检测与虚拟碰撞空间估计方法, 可为主从任务转化闭环控制避障算法提供有效的障碍物信息, 实现平面冗余机械臂安全避障, 提高协作机械臂与环境交互安全性。

123 三点接触球轴承打滑动力学分析与验证

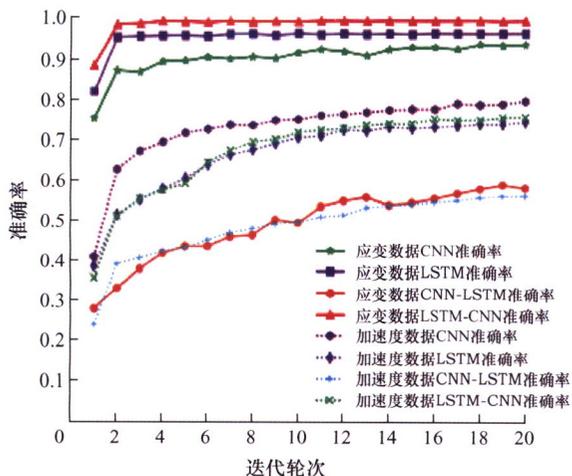
彭城 曹宏瑞 朱玉彬 陈雪峰



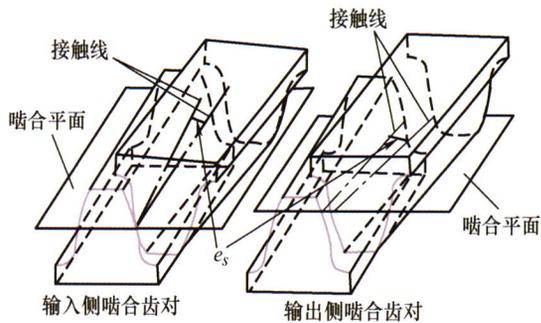
摘要: 三点接触球轴承是航空发动机中的关键基础件。目前对三点接触球轴承的仿真分析多基于拟静力学模型,对于打滑、擦伤等特殊行为缺乏解释,而滚球打滑易引起滚道磨损、蹭伤等故障。在对轴承元件进行受力分析的基础上,引入滚球与左右半内圈的接触状态判断条件,采用动力学方法对三点接触球轴承进行了打滑分析。然后,分析了设计接触角及运行参数对轴承打滑率的影响。最后,通过实验研究了滚球通过内圈频率及滚球公转转速随轴向载荷及内圈转速的变化规律,并与动力学模型仿真值进行对比验证了方法的有效性。研究结果表明:轴向载荷越小或转速越高,打滑率越大;在转速和载荷工况条件相同的情况下,轴承打滑率随着设计接触角的增加而增加;而在不同转速工况下,轴承发生打滑的轴向载荷临界值不同,其数值随转速的升高而增加。

131 基于转子端数据驱动 LSTM-CNN 模型的高速旋转系统运行状态识别方法

易聪 杜建军 尹际雄 朱海斌 邓炜坤 白宝亮 付从艺



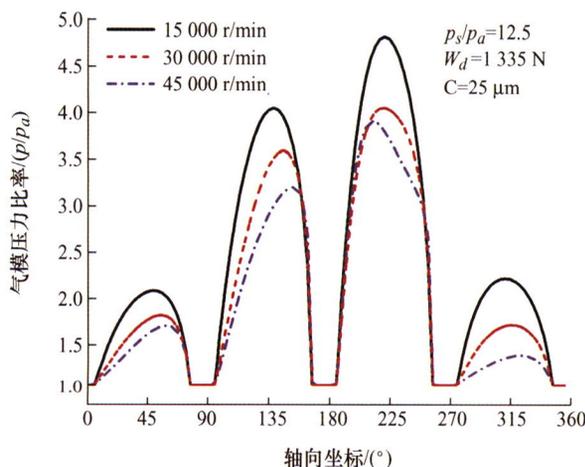
摘要: 针对复杂结构高速转轴运行状态难以准确实时监测与识别的问题,提出了一种基于转子系统数据驱动的复合神经网络转轴工况识别方法。首先,提出了一种基于长短期记忆网络(Long short-term memory, LSTM)和卷积神经网络(Convolutional neural networks, CNN)的复合神经网络模型(LSTM-CNN)。然后,建立双盘转子动力学仿真模型,并利用Newmark- β 法对转子系统进行数值求解,获得转子系统关键固定节点动力学响应特征;同时基于有限元仿真获得关键旋转节点的动力学响应特征,并将两类数据分别导入LSTM-CNN模型中进行工况识别,并对其准确率和效率进行比较分析。最后,设计搭建高速转子实验平台,获取转子端和固定端数据分别对模型进行训练与验证,比较不同模型对高速转轴运行状态的识别能力。仿真数据与实验验证分析结果均表明基于转子端数据驱动的LSTM-CNN模型识别比传统的基于固定端数据驱动的方法具有更优的识别精度和效率。



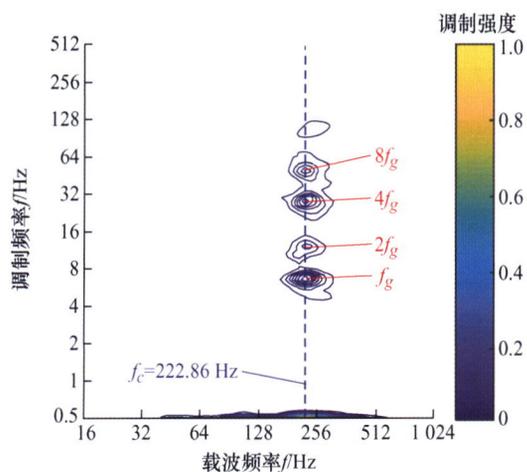
摘要:空间轴交角直接影响人字行星齿轮齿面的啮合位置和动态特性, 通过将空间轴交角分解到轴平面(两齿轮轴线组成的平面)和垂直平面(通过轴线且与轴平面垂直的平面), 推导两个平面中轴交角造成的齿面沿啮合线的等效位移, 进而分析出轴交角对齿轮啮合刚度的影响。以输入侧为原点, 输出侧齿面相互远离时轴交角为正, 考虑人字行星齿轮左右扭转柔性的三段式建模, 构建出一种新型空间轴交角人字行星齿轮系统动力学模型, 并分析行星齿轮轴交角对齿轮动态特性的影响。结果表明: 垂直平面轴交角对啮合刚度和动态啮合力的影响大于轴平面轴交角; 空间轴交角增大时, 内外啮合刚度均明显减小, 且内啮合变化程度大于外啮合齿; 动态啮合力会随空间轴交角正向增加而在输入侧增大, 输出侧减小, 负向增加时则相反。研究结果为人字行星齿轮系统的动态性能设计与控制提供理论基础和技术支撑。

151 并联封闭式挤压油膜阻尼器的多孔质可倾瓦轴承性能分析与试验验证

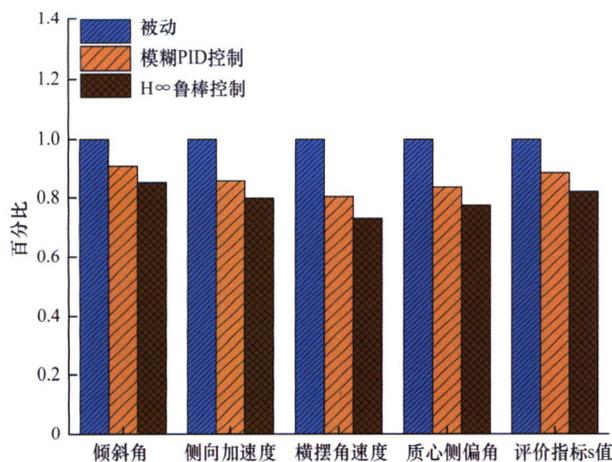
王建伟 李 航 吴元辉 范嘉辉 冯 凯



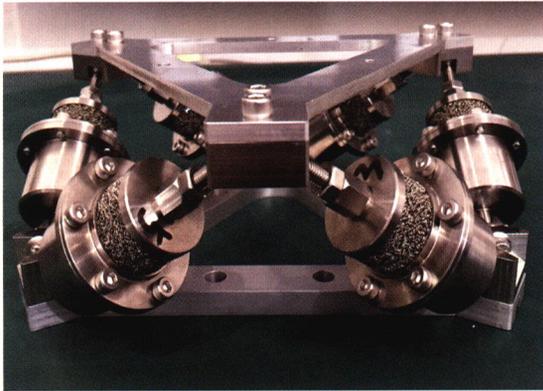
摘要:鉴于封闭式挤压油膜阻尼器(Hermetically sealed squeeze film damper, HSFD)良好的阻尼性能, 并联 HSFD 的多孔质可倾瓦轴承(Porous tilting pad bearing, PTPBs)有望用于兆瓦级涡轮机械, 具有广泛的应用前景。呈现了一种 HSFD 等效刚度和等效阻尼的计算方法, 该方法成功体现了阻尼器刚度和阻尼的“频率依赖”特性。将 HSFD 与多孔质瓦块模型耦合建立了该轴承的综合理论模型, 并进一步验证了该模型的正确性。最后研究了供气压力、轴承间隙以及是否安装 HSFD 等对轴承静态特性的影响。结果表明, HSFD 的存在大幅提高了轴承的阻尼水平和稳定性。



摘要: 时频分析方法能够有效同时提取故障设备振动信号的时间和频率信息,但在全面反映非线性振动信号幅值调制与频率调制特征之间的跨尺度耦合关系方面仍存在局限,且容易受到噪声干扰。对此,创新性地将全息希尔伯特谱分析(Holo-Hilbert spectral analysis, HHSA)方法引入到机械故障诊断中。HHSA 通过双层经验模态分解(EMD)结构可完整地描述振动信号的内部调制特性,非常适合机械局部故障的检测。同时,为了进一步提升 HHSA 的诊断精度、抑制 EMD 模态混叠和噪声干扰,提出一种基于改进再生相移正弦辅助经验模式分解(Improved regenerated phase-shifted sinusoid-assisted EMD, IRPSEMD)的改进 HHSA 方法(IHHSa)。通过仿真信号验证 IHHSa 方法用于局部故障检测和诊断的有效性。最后,将 IHHSa 应用于齿轮裂纹故障和滚动轴承局部故障诊断中,结果表明,提出的 IHHSa 方法能够更全面地反映和呈现非线性故障振动信号的内部调制关系,且具有更好的故障识别能力。



摘要: 为了使车辆的行驶状态和稳定程度更为便捷的显现出来,以及对系统研发初期的效果进行评价,需要引入一个比较准确的评价指标,使其可以判断并量化车辆的侧倾稳定性,因此将零力矩点(Zero-moment point,ZMP)的概念引入到车辆的侧倾评价体系之中,通过对车辆侧倾模型以及刚性车辆模型零力矩点的推导,从而来预测车辆的侧倾倾向,并得出车辆的侧倾指数 y_{zmp} , 根据其侧倾指数 y_{zmp} 算出侧倾指标 s ; 再与其他现有侧倾评价指标的对比与转换,从而证明该指标的准确性以及有效性。之后,再以某 19 座商用车为例,建立整车模型,并设计 H^∞ 鲁棒控制的算法对半主动横向稳定杆的侧倾刚度进行实时调节,最后通过 Trucksim 和 Simulink 联合仿真来验证两种控制方法的有效性,同时,以侧倾指标来对比判断鲁棒控制算法的半主动横向稳定杆与被动横向稳定杆、模糊 PID 控制的半主动横向稳定杆对于侧倾运动的改善效果。根据仿真结果显示,半主动横向稳定杆相对于被动横向稳定杆来说,其在各个侧倾参数上都有明显的降低,并且相较于模糊 PID 控制的半主动横向稳定杆, H^∞ 鲁棒控制的半主动横向稳定杆在各个侧倾参数上都有一定程度的降低,其中侧倾角下降了 14.7%,侧向加速度下降了 21.3%,横摆角速度下降了 25.6%,质心侧偏角下降了 23.4%,相较于模糊 PID 控制,其控制效果更为优秀,并且车辆侧倾系数也从 0.721 减小至 0.645,与其他参数降低程度类似,也从另外一方面显示了所提出的侧倾评价指标的有效性。

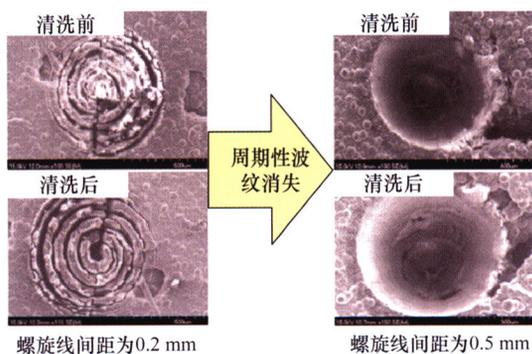


摘要: 某飞行器的高精度测量器件对振动非常敏感,其隔振系统可在高真空、极端温度环境下实现多自由度的隔振。文中提出了一种全金属六自由度隔振平台,该平台利用一种筏式金属橡胶阻尼器作为 Steward 机构的滑动副,实现了全金属的六自由度隔振性能。研究者采用动态增量非线性分析系统计算了这种隔振系统的随机振动响应特性,仿真结果验证了其原理的正确性。研发了原型机并测试了其性能指标,测试结果表明:在 40~2000 Hz 的宽频域内,该原型机能够有效衰减 X、Y、Z 三轴向的随机振动能量,各轴向随机振动的总均方根加速度由 2.2 g 衰减到 1 g 以下,该原型机也可衰减三个轴向的角振动能量。研究成果可解决目前多自由度隔振系统对极端环境适应性差的技术难题,成果可直接应用于特殊环境下的隔振技术领域。

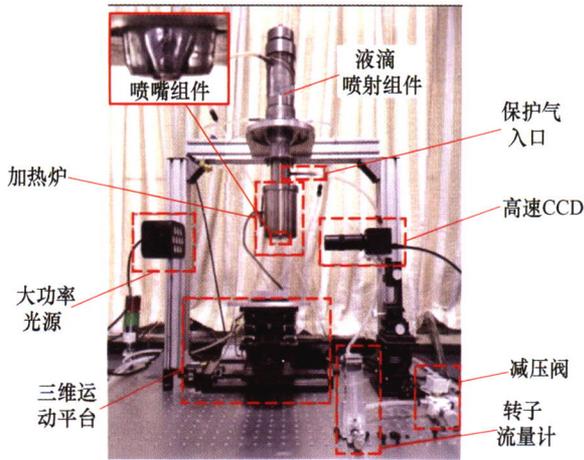
/// 制造工艺与装备 ///

199 碳化硅陶瓷基复合材料常用的特种加工技术: 综述

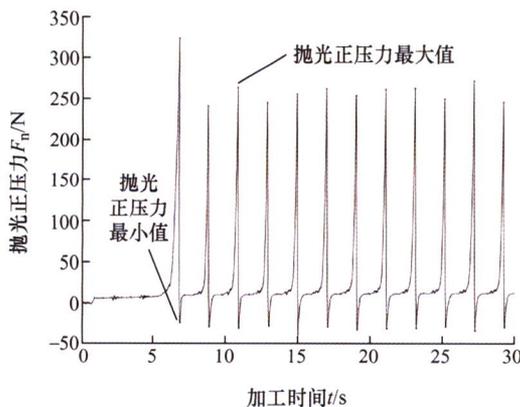
张修峰 邵国栋 刘传成 史振宇 邹斌 王继来 张成鹏



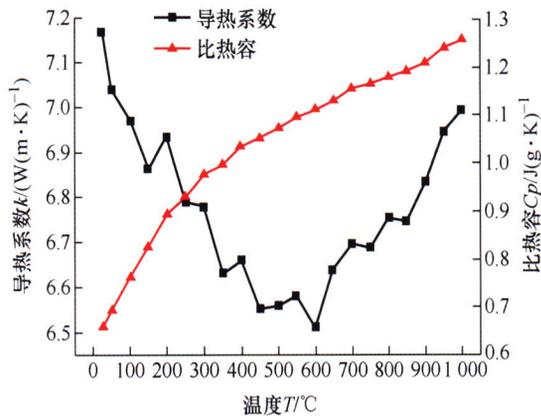
摘要: 碳化硅陶瓷基复合材料(SiC-CMC)具有高硬度、高强度、耐高温、耐腐蚀等诸多优点,在航空航天、核工业、刹车系统中表现出巨大的应用潜力。然而, SiC-CMC 各向异性、不均质性、硬脆性的特点,使加工变得十分困难。传统加工方法存在加工表面质量难以控制、刀具磨损严重、加工效率极低的问题。为了解决上述问题,特种加工技术被用来尝试加工 SiC-CMC。不过,特种加工技术种类繁多,涉及的知识面比传统加工技术多、广、杂,选择工程实用价值更高和基础性更强的激光加工、磨粒水射流加工、电火花加工三个方面展开综述。首先介绍了三种特种加工技术存在的问题,然后综述了解决问题的方法,最后比较了三者之间的优劣势并得出结论:特种加工技术具有各自优势,激光加工适合加工微孔、微槽等微结构;磨粒水射流加工具有更高的加工效率,且能加工大型复杂构件;电火花加工设备投资低,擅长加工薄板型构件和深腔凹槽。特种加工技术既不相互排斥,也不能相互代替,而应该相辅相成,发挥各自的优势,以高效率制备高精密的复杂构件。



摘要: 金属微滴喷射 3D 打印过程需在低氧环境(氧含量低于 50 ppm)下进行, 现有设备常采用带除氧系统的密闭手套箱来维持低氧环境, 但因其空间受限, 操作不便, 很难适应该技术向应用领域拓展。在微滴喷射出口处构建微域低氧环境, 既可保护微滴喷射时不被氧化, 又能扩大该技术应用范围并提高操作灵活性, 是促进金属微滴喷射 3D 打印技术工程化应用的一个关键。但施加保护气会产生气流扰动, 不利于微滴稳定喷射和精确沉积。为解决现有微域保护技术不足, 设计开发一种新型环形射流微域保护装置, 结合微域保护下的锡合金微滴喷射试验与微域气流流场模拟, 揭示氧化和气流动力学对微滴喷射过程作用机制。研究发现当保护气供应不足时, 金属射流由于氧化表面张力降低、黏度增大(即 Oh 数增大), 会断裂为带锥形拖尾的单颗熔滴; 当保护气供应过大时, 气流在射流根部产生二次涡, 使射流二次断裂, 并生成多颗熔滴。最终在合适参数下打印出较长沉积距离熔合良好、堆叠整齐的锡合金立柱和尺寸均匀、落点准确的凸点阵列, 证实环形射流微域保护装置的有效性。研究成果可为金属微滴喷射 3D 打印技术的推广应用提供关键技术支持和理论基础。



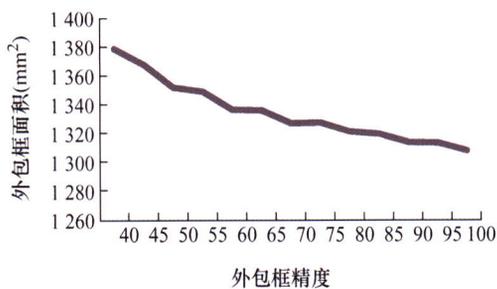
摘要: 磁流变变间隙动压平坦化加工利用工件的轴向低频振动使磁流变液产生挤压强化效应, 可以有效提高加工效果并使光电晶片快速获得纳米级表面粗糙度。通过旋转式测力仪试验研究不同变间隙参数对磁流变变间隙动压平坦化加工过程中抛光正压力的影响规律, 结果表明, 在工件轴向低频振动作用下, 抛光正压力形成脉冲正值和负值周期性的动态变化过程; 将工件轴向低频振动过程分解为下压过程与拉升过程, 下压速度和拉升速度对动态抛光力有不同的响应特性; 随着最小加工间隙的减小抛光正压力会急剧增大; 设置最小加工间隙停留时间观察抛光正压力变化, 可以发现在工件最小加工间隙停留期间抛光力从峰值逐渐衰减并趋于平稳; 挤压振动幅值对抛光正压力影响较小。建立了磁流变变间隙动压平坦化加工材料去除模型, 弄清了在动态压力作用下, 磨料更新及其附加运动机制, 研究了磁流变变间隙动压平坦化加工过程中磨料颗粒对工件表面柔性划擦和微量去除的作用机理, 为磁流变变间隙动压平坦化加工的工艺优化提供了理论依据。



摘要: 面向切削状态监测和加工工艺智能优化对切削温度在线精确感知的需求, 利用负温度系数热敏陶瓷的阻温特性和结构陶瓷的高耐磨性, 设计了一种基于异种陶瓷复合的新型温度感知刀具, 并通过微波烧结技术制造了该智能刀具, 最后基于刀具上3个测温点的温度值对刀具切削区温度场进行了重构。该温度感知智能刀具最高感知温度 $>700\text{ }^{\circ}\text{C}$, 响应迅速。在 $v_c = 150\text{ m/min}$ 、 $a_p = 1.0\text{ mm}$ 、 $f = 0.075\text{ mm/r}$ 干式车削镍基高温合金GH4169时, 刀具在25 s达到热平衡, 刀具上3个测温点的温度值分别为 $425\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $204\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $188\text{ }^{\circ}\text{C}$, 刀具最高温度出现在前刀面靠近主切削刃位置, 最高温度达 $1579\text{ }^{\circ}\text{C}$, 整个刀尖区域的温度不低于 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

249 3DP 工艺中 STL 模型中心排样策略研究

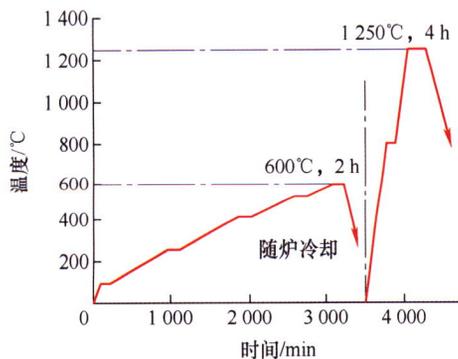
杨伟东 刘志越 王媛媛 朱东彬 张争艳



摘要: 针对3DP工艺中零件排样问题, 由于不同零件成型方向所产生的阶梯误差存在差异, 因此排样过程零件旋转受到限制。同时为了避免零件间受到粘结剂渗透影响, 它们之间需预留间隙。基于粉床中心位置零件的成型质量要优于四周, 提出了一种基于投影算法的STL模型中心排样策略。该方法将三维排样问题转化为二维不规则排样, 以排样环作为零件的移动路径, 排样点作为模型移动的参考位置, 并以二维平面上的圆形空间评价排样结果, 从而实现了多个零件中心排样。以两类典型的STL模型进行了三组算例的中心排样实验, 结果表明: 该中心排样策略对不同类型的零件均取得了较好的排样效果。

259 浆料固相含量对数字光处理成形 SiO₂ 基陶瓷性能的影响

于康博 吴甲民 郑雯 陈双 张洁 刘珩 文世峰 闫春泽 史玉升



摘要: 随着国内外航空航天事业的快速发展, 硅基陶瓷型芯在制备发动机涡轮叶片中起到越来越重要的作用。本工作以氧化硅(SiO_2)粉末和硅酸锆(ZrSiO_4)粉末为原材料, 通过数字光处理技术(Digital light processing, DLP)制备 SiO_2 基陶瓷, 主要研究了陶瓷浆料固相含量对DLP成形 SiO_2 基陶瓷微观组织和性能的影响。随着陶瓷浆料固相含量(体积分数)从50%增加到65%, SiO_2 基陶瓷中由石英玻璃转变形成的方石英含量逐渐下降, 烧结件的晶粒孔隙逐渐减少。DLP成形 SiO_2 基陶瓷的径向收缩率由4.65%下降至1.61%, 轴向收缩率由8.35%下降至4.17%; 而 SiO_2 基陶瓷的体积密度逐渐提高, 气孔率逐渐减小, 抗弯强度逐渐上升。最终确定陶瓷浆料的最佳固相含量为65%, 此时 SiO_2 基陶瓷的气孔率为25.4%, 室温抗弯强度为9.3 MPa, 满足硅基陶瓷型芯的性能要求。

267 电弧增材制造 2319 铝合金交叉桁条结构微观组织与拉伸性能研究

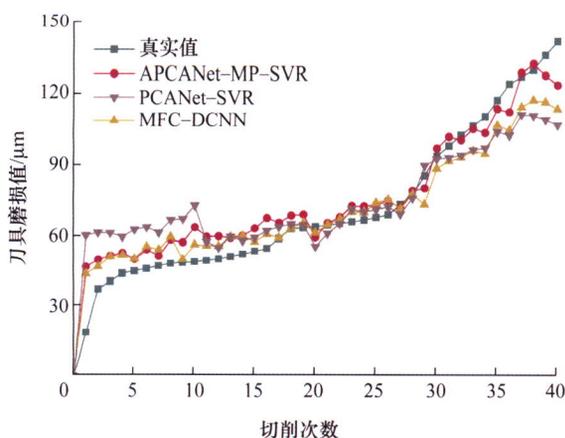
王磊磊 吕飞阅 高转妮 虞文军 高川云 占小红



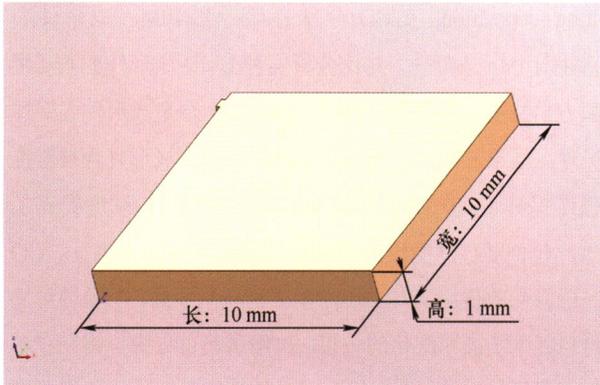
摘要: 电弧增材制造具有材料利用率高、制造效率高、制造成本低等优势, 适合制造大型复杂航空薄壁构件。目前, 交叉桁条结构电弧增材制造的路径规划、成形形貌控制、组织性能差异性等方面缺乏系统研究。针对交叉桁条结构提出了一种新的分层切片及路径规划方法, 解决了桁条交叉区域余高过大导致的制造精度不足问题。开展了电弧增材制造 2319 铝合金交叉桁条不同区域的晶粒形态、元素分布、拉伸性能、断面形貌等检测与分析, 结果表明, 电弧增材制造 2319 铝合金交叉桁条结构不同区域的晶粒形态及尺寸呈现明显差异, 致使桁条顶部的平均抗拉强度值与中部、底部相比高出 20% 左右。在拉伸断口的韧窝中存在大量 $\theta(\text{Al}_2\text{Cu})$ 颗粒相, 该非共格析出相增大了晶格畸变能并且提升位错阻力, 使晶体滑移难以进行, 最终材料的强度显著提高。

278 基于改进 PCANet 模型的铣刀磨损预测方法研究

段 暎 周宏娣 刘智勇 詹小斌 梁健强 史铁林



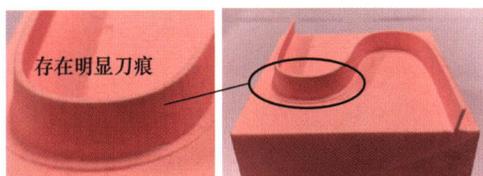
摘要: 铣刀健康状况直接影响实际生产加工过程, 因此开展铣刀状态监测研究具有较大工程意义。以卷积神经网络为代表的深度学习模型已经逐渐用于监测加工过程中的刀具状态。但是这些模型的可解释性较差, 预测结果的差异性也较大。作为一种新颖的卷积神经网络变种, 主成分分析模型 (Principal component analysis network, PCANet) 的可解释性好, 但是特征自监督学习能力有待提升, 且相关应用案例较少。针对以上问题, 拟对 PCANet 模型进行优化, 进而提出了一种激活主成分分析-最大池化-支持向量回归 (Activated PCANet with max pooling and support vector regression, APCANet-MP-SVR) 模型, 用于自适应提取敏感特征并准确预测刀具磨损情况。首先引入 \tanh 激活函数, 提高模型泛化能力; 再采用最大池化层替代哈希编码和直方图用于特征选择, 进一步降低冗余特征规模; 最后建立支持向量回归模型实时预测刀具磨损值。应用案例充分证明了所提模型能够更好地用于加工现场刀具磨损值预测。



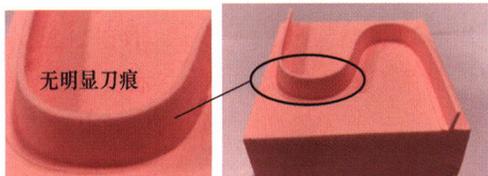
摘要: 针对目前亚像素微扫描的 LCD 式光固化 3D 打印技术在微纳结构增材制造中存在的典型打印瑕疵, 通过优化打印工艺和分析打印结构, 以提高打印成型质量和生产效率。首先, 通过对打印材料后处理工艺研究, 设计单因素试验并打印平板模型, 分析后固化时长对零件硬度、粗糙度及形貌影响规律。其次, 结合打印工艺参数, 设计正交试验并打印圆柱阵列模型, 分析打印层厚、曝光时间、振动次数对微圆柱成型的影响规律。结果表明: 后固化时间在 5~10 min 时, 后固化效果最优, 此时表面粗糙度 Ra 值约为 29 nm, 邵氏硬度在 88 HD 左右。打印工艺参数对微圆柱直径尺寸影响大小排序为: 曝光时间>打印层厚>振动次数。在均衡打印质量和打印效率的前提下, 打印参数优化后, 打印直径 50 μm , 高度 210 μm 的微圆柱结构应采用打印层厚 10 μm , 曝光时间 2 500 ms, 振动次数 64 x 的打印工艺参数。

298 新型 5 轴混联加工单元的后置处理算法

张俊 鲍雨菲 方汉良 宋亚庆

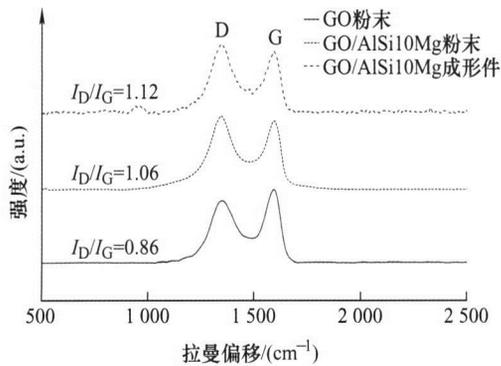


(a) 未经后置处理的加工试件



(b) 经后置处理的加工试件

摘要: 5 轴混联加工单元因其高刚性、快速响应及灵活调姿等优点, 已被视为复杂铝合金结构件高效加工的一种替代方案。后置处理是改善此类装备加工能力的重要环节。以一种新型 5 轴混联加工单元为研究对象, 提出一种可提高其加工件表面质量的后置处理算法。首先, 基于 B 样条曲线构造一种双参数曲线插补算法, 进行刀尖和刀轴轨迹的光顺处理, 并采用参数同步化保证刀尖点与刀轴点的同步插补。其次, 通过推导混联加工单元的速度映射模型, 构造驱动轴的速度分配算法以确保刀尖进给速度的稳定性; 接着, 运用混联加工单元的位置逆解与速度分配策略, 将其末端的进给速度、光顺处理后的刀尖插补点及刀轴插补点转换成驱动轴的位置与速度运动控制点集, 实现混联加工单元刀具轨迹的后置处理; 最后, 基于前期开发的实验样机开展一组 S 形试件的切削实验, 验证所提后置处理算法的有效性。



摘要: 针对铝合金激光熔化沉积件强韧性差等问题, 提出一种溶剂蒸发法制备具有粉末球形度高、流动性好、激光吸收率高且氧化石墨烯(Graphene oxide, GO)均匀分散的GO/AlSi10Mg复合粉末, 采用激光熔化沉积技术(Laser melting deposition, LMD)分别打印 AlSi10Mg 成形件和GO/AlSi10Mg成形件, 对比分析两种LMD成形件的微观组织和力学性能, 探究GO调控AlSi10Mg合金成形件强韧性的机理。结果表明, 添加0.1%GO的LMD成形复合材料抗拉强度提升了10.3%, 延伸率提高了170%, 硬度提高了5.8%, 拉伸断口从脆性断裂特征转变成韧性断裂特征。GO在高能激光的作用下发生还原反应生成石墨烯, 石墨烯对复合材料起到了晶粒细化的效果。拉伸试验过程中位错在石墨烯附近聚集并缠结, 石墨烯在铝基体中的钉扎作用阻碍了位错的移动、促进了位错增殖, 而且石墨烯与Al基体有较强界面结合, 起到载荷转移和桥接作用。由于晶粒细化、位错强化、载荷转移强化以及桥接作用, 提出的GO/AlSi10Mg激光熔化沉积技术提高了铝合金成形件的强韧性, 为铝合金激光熔化沉积技术的应用和发展提供了有效技术手段。

CONTENTS

- 1 Fiber-optic Navigation Technology for Continuum Surgical Robots: Status and Future Perspectives**
SUN Guangkai HE Yanlin YU Yang HAN Jing ZHAO Guanqi ZHOU Kangpeng ZHU Lianqing
- 19 Planetary Child Rover for Lava Tube Exploration and Its Parametric Design**
HUANG Lan YU Zhaowei DING Liang YANG Huaiguang GAO Haibo DENG Zongquan
YANG Chenguang
- 35 Influences of Base Motions on Additional Excitations of Floating Wind Turbine Gearbox Transmission System**
TAN Jianjun ZHU Caichao LI Hao SONG Chaosheng DONG Yehong
- 50 A High-precision Method for Solving the Inverse Kinematics of Multi-axis Robots**
CHEN Feifei JU Hehua LIU Xiaohan
- 59 Reliability Optimization Design for Large Aerospace Planetary Mechanism Based on Hierarchical Finite Element**
LI Ming LUO Yuan XIE Liyang
- 71 Robust Adaptive Force Tracking Admittance Control for 3-DOF Translational Force-controlled End-effector**
ZHANG Guolong YANG Guilin DENG Yimin WANG Weijun FANG Zaojun CHEN Chin-Yin
ZHU Renfeng YANG Kaisheng
- 82 Topology Optimization of Compliant Mechanisms Based on Rotation Constraint Strategy**
QIAO Heting WU Shuangshuang YAN Ming TANG Henan CAI Gaoyuan
- 91 Variable Stiffness Actuator and Variable Stiffness Flexible Gripper Based on Differential Gear Train**
LONG Yilin WANG Binluan JIN Hongzhe XU Weiming ZHAO Jie

- 103 Design and Experimental Research on the Novel Leg Configuration of Bipedal Robot**
SHI Zhaoyao DING Hongyu WANG Wenguang LIU Yizhang HU Yisen JU Xiaozhu
ZHANG Pan
- 113 Collision Detection and Obstacle Avoidance of Planar Redundant Manipulator based on Dichotomous Heuristic**
ZHANG Jianhua REN Baozhen ZHAO Yan XU Yongqiang LIU Xuan
- 123 Dynamic Analysis and Verification on Skidding Behavior of Three-Point Contact Ball Bearings**
PENG Cheng CAO Hongrui ZHU Yubin CHEN Xuefeng
- 131 Running Condition Identification of High-speed Shaft Based on Shaft-end-data Driven LSTM-CNN**
YI Cong DU Jianjun YIN Jixiong ZHU Haibin DENG Weikun BAI Baoliang FU Congyi
- 141 Study on the Dynamic Characteristics of Herringbone Planetary Gear System with Space Shafts Angle**
XU Xiangyang LI Long REN Bo ZHU Caichao
- 151 Performance Analysis and Test Verification of Porous Tilting Pad Bearings with Hermetically Sealed Squeeze Film Damper in Parallel**
WANG Jianwei LI Hang WU Yuanhui FAN Jiahui FENG Kai
- 162 Improved Holo-Hilbert Spectrum Analysis-Based Fault Diagnosis Method for Rotating Machines**
ZHENG Jinde YING Wanming PAN Haiyang TONG Jinyu LIU Qingyun JI Jinchen
- 175 Vehicle Roll Evaluation Index Based on ZMP Position and Roll Control Research**
PAN Gongyu DING Cong LI Yun
- 188 Research on an All-metal Vibration Isolation Platform with Six DOFs**
DU Yonggang WANG Xuesong WANG Yuling
- 199 Special Processing Techniques Commonly Used For Silicon Carbide Ceramic-Based Composites: Review**
ZHANG Xiufeng SHAO Guodong LIU Chuancheng SHI Zhenyu ZOU Bin WANG Jilai
ZHANG Chengpeng
- 219 Investigation on the Effect Mechanism of Micro-domain Shielding Gas on Metal Droplet Ejection Process**
ZHOU Yi QI Lehua LUO Jun SU Lin

- 231 Study on the Polishing Forces Characteristics of Magnetorheological Variable Gap Dynamic Pressure Polishing**
YAN Qiusheng CAI Zhihang PAN Jisheng
- 242 Study on a New Type of Cutting Temperature Sensing Smart Tool**
YIN Zengbin HAO Xiaohua CHEN Weiyu ZHENG Yitong
- 249 Research on STL Model Center Layout Strategy in 3DP Technique**
YANG Weidong LIU Zhiyue WANG Yuanyuan ZHU Dongbin ZHANG Zhengyan
- 259 Effect of Solid Loading of Slurry on Properties of SiO₂-based Ceramics Formed by Digital Light Processing**
YU Kangbo WU Jiamin ZHENG Wen CHEN Shuang ZHANG Jie LIU Heng WEN Shifeng
YAN Chunze SHI Yusheng
- 267 Microstructure and Tensile Properties of Wire Arc Additive Manufactured 2319 Aluminum Alloy Cross-stringer Structure**
WANG Leilei LÜ Feiyue GAO Zhuanni YU Wenjun GAO Chuanyun ZHAN Xiaohong
- 278 Milling Tool Wear Prediction Research Based on Optimized PCANet Model**
DUAN Jian ZHOU Hongdi LIU Zhiyong ZHAN Xiaobin LIANG Jianqiang SHI Tielin
- 286 Morphology Analysis and Process Optimization of Micro-cylinder Structure in Micro-nano Additive Manufacturing**
CHEN Yutian WU Chongjun WEI Xinyi MENG Xiankai LIU Jie WANG Qibing
- 298 Post-processing Algorithm of a Novel Five-axis Hybrid Kinematic Machining Unit**
ZHANG Jun BAOYufei FANG Hanliang SONG Yaqing
- 309 Study on Microstructure and Properties of GO/AlSi10Mg Composites Deposited by Laser Melting**
LI Xintong WANG Shuai DU Jiabin MIAO Yuxin LU Hao XU Jijin

《机械工程学报》第十一届编委会

名誉主任

钟群鹏 (院士) 路甬祥 (院士)

名誉委员

王玉明 (院士) 石治平 (研高) 叶声华 (院士) 宁汝新 (教授) 过增元 (院士) 刘大响 (院士)
刘友梅 (院士) 刘宏民 (教授) 李圣怡 (教授) 周祖德 (教授) 胡正寰 (院士) 柳百成 (院士)
钟掘 (院士) 闻邦椿 (院士) 耿荣生 (教授) 徐金梧 (教授) 徐滨士 (院士) 熊有伦 (院士)

主任

陈学东 (院士)

副主任

王国彪 (教授) 邓宗全 (院士) 李奇 (编审) 陈超志 (教授级高工) 邵新宇 (院士)
黄田 (教授) 黄庆学 (院士)

国内委员

丁汉 (院士) 王雪 (教授) 王田苗 (教授) 王华明 (院士) 王庆丰 (教授) 王时龙 (教授)
王树新 (院士) 王海斗 (教授) 王润孝 (教授) 王耀南 (院士) 孔祥东 (教授) 卢秉恒 (院士)
史玉升 (教授) 冯吉才 (教授) 权龙 (教授) 曲兴华 (教授) 朱胜 (教授) 朱荻 (院士)
朱向阳 (教授) 华林 (教授) 刘强 (教授) 刘少军 (教授) 刘军山 (研究员) 刘志军 (教授)
刘辛军 (教授) 刘检华 (教授) 刘雪峰 (教授) 刘献礼 (教授) 刘德顺 (教授) 孙伟 (教授)
孙汉旭 (教授) 孙逢春 (院士) 严新平 (院士) 杜雪 (教授) 杜朝辉 (教授) 李大勇 (教授)
李荣德 (教授) 李涤尘 (教授) 杨永强 (教授) 杨华勇 (院士) 杨兆军 (教授) 杨绍普 (教授)
何存富 (教授) 沈功田 (研究员) 张峥 (教授) 张义民 (教授) 张卫红 (院士) 张立军 (教授)
张宪民 (教授) 陈新 (教授) 陈文华 (教授) 陈兵奎 (研究员) 陈雪峰 (教授) 苑世剑 (教授)
苑伟政 (教授) 范志超 (研究员) 林京 (教授) 林峰 (教授) 林忠钦 (院士) 周仲荣 (教授)
周华民 (教授) 单忠德 (院士) 项昌乐 (院士) 赵杰 (教授) 赵继 (教授) 赵韩 (教授)
赵丁选 (教授) 赵宏伟 (教授) 赵国群 (教授) 柯映林 (教授) 钟志华 (院士) 段吉安 (教授)
段宝岩 (院士) 姜澜 (教授) 洪军 (教授) 宫声凯 (院士) 姚建华 (教授) 姚振强 (教授)
袁巨龙 (教授) 袁寿其 (教授) 都东 (教授) 贾振元 (院士) 夏长亮 (院士) 钱林茂 (教授)
徐西鹏 (教授) 殷国栋 (教授) 高金吉 (院士) 郭万林 (院士) 郭东明 (院士) 涂善东 (院士)
陶飞 (教授) 黄卫东 (教授) 黄传真 (教授) 黄明辉 (教授) 梅雪松 (教授) 彭艳 (教授)
彭芳瑜 (教授) 葛世荣 (院士) 韩旭 (教授) 焦宗夏 (教授) 温激鸿 (研究员) 谢建新 (院士)
雒建斌 (院士) 廖维新 (教授) 谭建荣 (院士) 翟婉明 (院士) 熊蔡华 (教授) 融亦鸣 (教授)
戴一帆 (教授)

国际委员

Bi Zhang (美国)	Denis Cavallucci (法国)	Dong-Pu Cao (英国)
Duc Truong Pham (英国)	Erhan Budak (土耳其)	Guang-Bo Hao (爱尔兰)
Gui-Yun Tian (英国)	Hai-Jun Su (美国)	Han Huang (澳大利亚)
Hong-Chao Zhang (美国)	Jian-Sheng Dai (英国)	Jie (Peter) Liu (加拿大)
Jin Wang (英国)	Jorge Angeles (加拿大)	Jun Wang (澳大利亚)
Kai Cheng (英国)	Kazushi Sanada (日本)	Lian-Xiang Yang (美国)
Li-Hui Wang (瑞典)	Marco Ceccarelli (意大利)	Ming-Jian Zuo (加拿大)
S.S. Park (加拿大)	Shao-Ping Bai (丹麦)	Shin Usuki (日本)
Tamás Insperger (匈牙利)	Wei Gao (日本)	Wei-Dong Li (英国)
Wei-Ming Shen (加拿大)	Xian-Wen Kong (英国)	Xiao-Ping Du (美国)
Xi-Chun Luo (英国)	Xu-Dong Zhao (英国)	Xun Chen (英国)
Y. Lawrence Yao (美国)	Yan Jin (英国)	Ye-Hwa Chen (美国)
Yong Huang (美国)	Yong-Bo Deng (德国)	Yu-Chun Xu (英国)
Zhao-Jie Ju (英国)		



ISSN 0577-6686



9 770577 668231