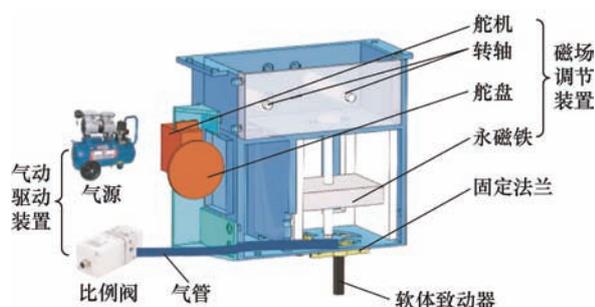


/// 机器人及机构学 ///

1 磁致变刚度原理的气动软体致动器设计与试验

李 特 崔博尧 刘海波 李峪铤 张国庆 曾繁练 王永青



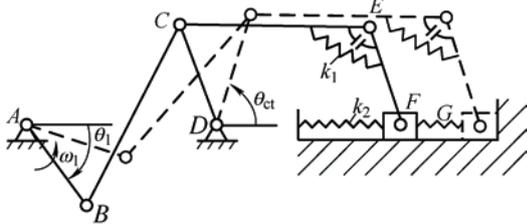
摘要: 软体机器人友好的人机交互特性使其在柔性抓取、生物医疗等领域有着广泛的应用前景。针对软体机器人“柔有余而刚不足”的缺陷,提出了一种具有快速、可逆变刚度能力的磁气混合驱动软体致动器。基于磁流变效应,设计了以磁流变弹性体材料作为基体的单自由度纤维增强型磁气混合软体致动器,并给出了软体致动器的浇注制造工艺。构建了磁-力耦合模型,分析磁流变弹性体中的刚度影响关系。基于自主开发的刚度测试平台,试验结果表明:设计开发的软体致动器可以在气压和磁场作用下实现可变刚度混合驱动,通过增加磁场强度可以明显提升软体致动器的刚度,最高可提高约40%。软体致动器末端位置控制实验结果表明:通过磁场激励作用,可将软体致动器携带负载的位姿保持能力提高1.4倍,具有动载荷下的位置保持驱动能力,调节响应时间小于1.5 s。

13 可重复展收单折伞状天线机构创新设计与实验验证

张树新 于亦奇 曹 政 李 拓 罗 康



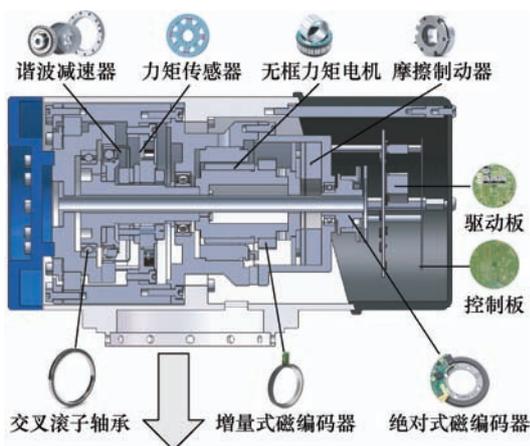
摘要: 针对现有单折伞状天线无法实现自动重复展收的问题,创新性地提出一种滚动轴承结合销轴、丝杠结合推板的展收机构,并进行了原理样机设计与验证。所提展收机构由单折肋、中心座、丝杠、丝杠螺母、上下推板、挡板、滚动轴承、销轴等组成。通过电机带动丝杠往复运动,推板上下移动,辐射肋根部在上下推板间滚动,辐射肋绕销轴转动,挡板限位锁定的方式,弥补了现有单折伞状天线的不足,创新性地实现了单折伞状天线辐射肋的重复展开与收拢。对辐射肋进行了运动学分析,得出了角度、角速度以及角加速度之间的转换关系。同时对反射体中的关键零部件进行了力学校验,以确保其可行性。设计并制作了4 m口径可重复展收单折伞状天线原理样机。通过原理样机重复展收试验,验证了所提创新机构的有效性。



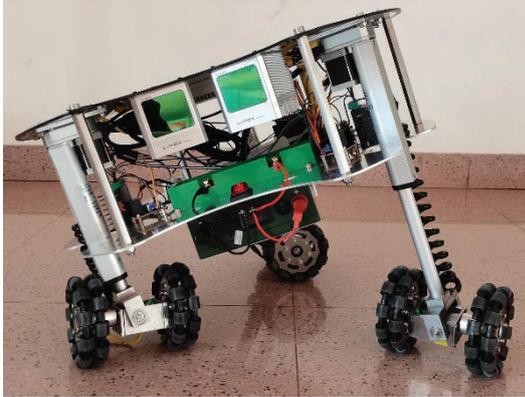
折纸机构 I 第构态

摘要: 为获得稳定、可靠的构态切换能力而开展可靠性优化设计是降低约束变胞机构运动功能失效概率的关键。基于多构态欠驱动约束变胞源机构的组成原理建立了含变胞运动副的扩展 Assur 杆组的模块化受力分析模型。根据变胞运动副的等效阻力梯度模型, 考虑系统内外部误差的随机性, 利用可靠性理论建立了约束变胞机构构态切换能力的概率评估模型。基于可靠性评估及可靠性灵敏度分析, 提出了面向约束变胞机构构态切换稳定性的可靠性优化设计方法, 进而针对可靠性灵敏度较高的结构参数随机变量的公差进行优化设计, 使优化后的设计方案同时满足可靠性和经济性要求。最后, 以折纸变胞机构为例, 验证了提出的可靠性优化设计方法的可行性和有效性。研究工作为开展面向高概率的构态切换重复执行能力的变胞机构可靠性优化设计奠定了基础, 同时对推进变胞机构的工程应用具有理论和实际意义。

38 基于期望动力学的柔性关节控制器设计



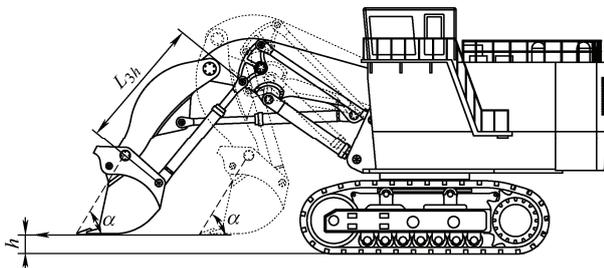
摘要: 协作机器人具有灵活, 安全特点, 已广泛应用于自动化领域以及中小企业中。为了保证与人交互的安全性, 协作机器人通常采用中空电机与中空减速器配合的设计方案, 以降低关节转动惯量, 从而获得良好的外力感知与控制能力, 这种设计导致协作机器人的关节具有了柔性。针对具有柔性关节的轻量级协作机器人, 设计了一种基于期望动力学的柔性关节控制器, 提高柔性关节机器人的轨迹跟踪精度和抖动抑制能力。在具有谐波减速器和力矩传感器的柔性关节上, 基于连杆侧位置反馈与关节力矩反馈实现了从经典的电机侧控制到连杆侧控制的转变, 并借助储存函数建立李雅普诺夫函数证明了该控制器的无源性、渐近稳定性。最后, 通过 Simulink 仿真与单关节实验平台的关节轨迹追踪实验验证了柔性关节控制器的性能, 结果显示其与全状态反馈控制相比具有关节力矩波动小、抖动抑制快以及轨迹跟踪误差小等优点。



摘要: 车轮是人类历史上最伟大的发明之一,在交通运输领域得到了广泛的研究与应用。将车轮这种特殊的运动副引入到传统并联机器人构型设计中,可以有效拓展并联机器人的工作空间。基于全方位轮的关联矩阵描述,将含车轮的串联支链构型综合问题转化为含车轮的关联矩阵求解问题,综合出两类含车轮的无约束串联支链,并分析了两类串联支链的受力稳定性。提出了两种六自由度轮式并联机器人新构型,分析了基于全向轮的轮式并联机器人的自由度属性,并成功研制出了一台实验样机。六自由度轮式并联机器人融合了移动机器人和传统并联机器人的优势,不仅具有移动效率高、移动范围广的优点,且具备在局部小范围内进行高精度六自由度操作的能力,可广泛应用于大型精密设备制造过程中的加工、运输、调姿和装配等工业操作。

54 正铲液压挖掘机三副摇杆工作机构的超多目标优化设计

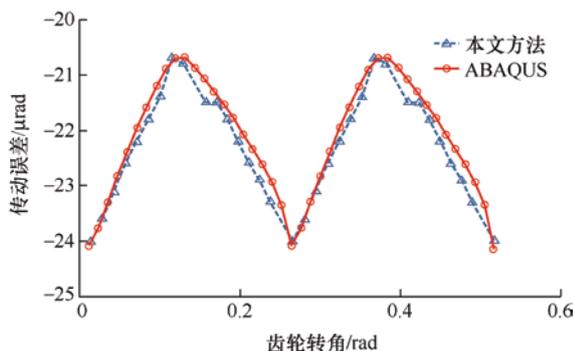
徐弓岳 冯泽民 郭二廓



摘要: 为解决液压挖掘机工作机构的超多目标优化难题,以新型三副摇杆正铲挖掘机构为研究对象、开展基于超多目标进化算法的优化设计研究。以三副摇杆工作机构的功能特点和正铲挖掘机的挖掘力、推压力、挖掘图谱指标等性能指标为目标函数建立其约束超多目标优化模型。通过引入自适应旋转模拟二进制交叉算子,提出一种改进的约束超多目标进化算法,增强算法处理复杂约束优化问题的能力,并在标准测试函数集中进行验证。将改进算法应用于70 t级液压挖掘机三副摇杆工作机构优化实例中,并与当前最先进的8种约束多目标进化算法进行比较研究,验证所提出算法的有效性。最后基于理想解法从得到的非支配解集中筛选出满意度最高的三副摇杆工作机构设计方案,并与现有经典机型方案的性能参数进行比较。优化结果表明:提出的算法在挖掘机工作机构优化中相比于其他进化算法具有明显优势,能得到极具竞争力的三副摇杆工作机构优化方案。

66 考虑系统变形的电驱动桥齿轮啮合效率研究

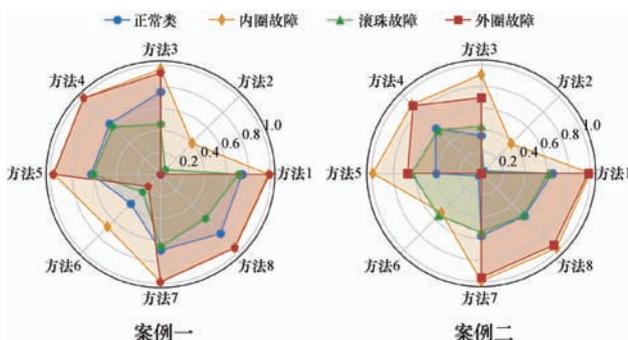
王钦 贺迪 桂良进 范子杰



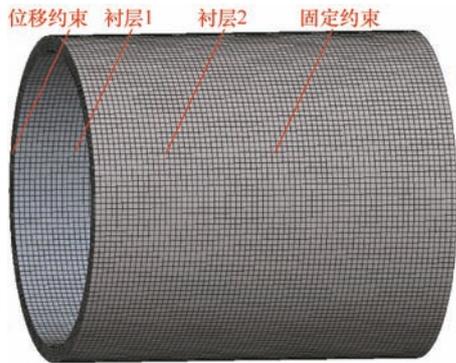
摘要: 传动效率是电驱动桥重要性能指标之一，实际使用条件下，由于齿轮、轴、轴承以及壳体等部件的负载变形，齿轮副之间存在啮合错位。为了准确预测电驱动桥传动系的啮合效率，提出了一种考虑系统变形的电驱动桥齿轮啮合效率计算方法。首先基于传动系等效啮合模型，计算不同载荷工况下传动系每个齿轮副之间的啮合错位量，采用考虑摩擦的齿轮加载接触分析方法 (FLTCA) 和混合润滑摩擦系数模型对齿轮副的齿面接触力和齿面摩擦系数分布进行计算，得到系统功率损失及啮合效率。然后，与商用有限元软件计算结果进行对比，验证了计算方法的准确性。最后，针对不同载荷工况和不同转速分析了考虑和不考虑系统变形的系统啮合效率，结果表明：随着转矩的增加，系统变形增大，齿轮副之间的错位量增加，导致齿轮副之间发生偏载，齿面摩擦系数增加，系统啮合效率呈下降趋势。

76 仿真数据驱动的改进无监督域适应轴承故障诊断

邵海东 肖一鸣 颜深



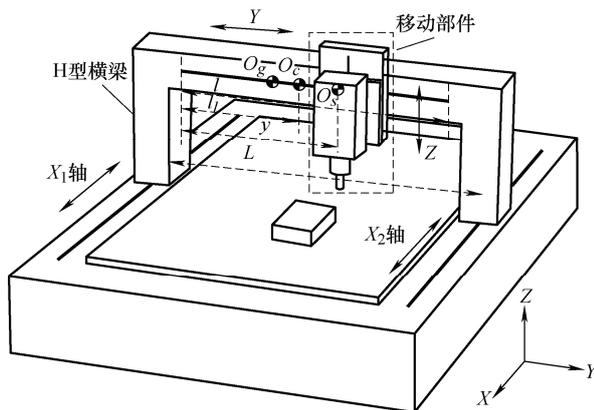
摘要: 现有无监督的轴承跨域故障诊断研究往往采用充足的试验台数据构建源域，且难以兼顾领域间的边缘分布和条件分布对齐，此外在域适配过程中全体源域样本被赋予相同的重要性。针对以上挑战，提出了一种仿真数据驱动的改进无监督域适应轴承故障诊断新方法。采用仿真所得的故障信息丰富，标签数据充足的轴承故障数据构建源域，降低对试验台资源的依赖。设计了一种嵌入联合最大均值差异的改进损失函数，在无监督场景下实现了不同域间边缘分布和条件分布的同时对齐。开发了一种源域样本权值分配机制，通过领域预测误差衡量源域样本与目标域样本的相似性从而自适应地分配其权值以抑制负迁移。使用两组试验台数据作为目标域对所提方法进行验证，结果表明：所提方法能够充分适配仿真域和实验域的深层特征分布，提高无监督跨域场景下的故障诊断精度。



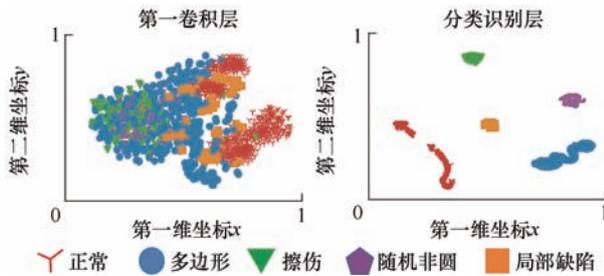
摘要: 针对水润滑单衬层轴承存在的低载高阻、高振高噪等缺点, 创新性地提出一种双衬层轴承结构, 有望实现轴承高载低阻、减振降噪性能新突破。关于水润滑夹心衬层轴承, 采用流-固耦合分析方法对其开展研究。建立流-固耦合动力学模型, 研究了偏心、衬层厚度等对润滑界面压力、承载、变形、应力等性能参数的影响规律, 揭示了衬层厚度等对润滑性能的影响机理。研究表明, 衬层静态结构参数与偏心率、转速和衬层厚度呈正相关关系, 而与厚度比呈负相关关系; 存在最佳衬层厚度范围使得摩擦因数最小化; 偏心率越大, 水膜破裂的可能性增加。最终, 研究结果为水润滑夹心衬层轴承的设计研发提供了理论基础并推动了该类轴承国产化进程。

98 基于机电-刚柔混合的 H 型双驱进给系统状态相关动态特性分析

刘 琪 卢 红 张新宝 代家舜

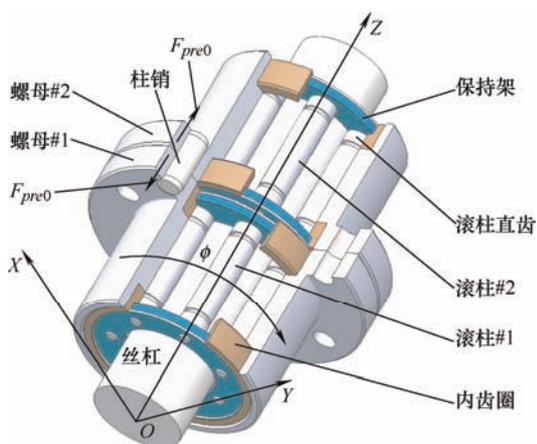


摘要: 动态特性是影响 H 型双驱进给系统定位精度的关键因素。基于重心驱动原理的 H 型双驱进给系统在位置状态变化时无法保证双轴驱动力合力通过运动件重心造成系统产生动态误差, 从而导致 H 型双驱进给系统的定位精度提升依然存在困难。从 H 型双驱进给系统的结构特性分析出发, 考虑 H 型横梁和移动部件位置状态对系统动力学参数的影响, 建立了 H 型双驱进给系统刚柔耦合动力学模型。结合伺服电机控制模型, 采用状态空间方法得到 H 型双驱进给系统的机电-刚柔混合模型。利用模态实验验证所建立的动力学模型的正确性。通过数值仿真分析了系统对阶跃信号、S 型信号和斜坡信号的响应特性, 得到了 H 型横梁和移动部件位置状态、进给速度状态和同步控制策略对 H 型双驱进给系统的动态误差、跟踪误差和同步误差大小的影响规律。所建立的机电-刚柔混合模型能够有效地揭示 H 型双驱进给系统状态相关参数对系统定位精度的影响, 可为 H 型双驱进给系统同步控制和误差补偿研究奠定理论基础。



摘要: 针对高速列车车轮失圆识别难以兼顾效率与精度问题, 提出一种基于轴箱振动与动力学模型的高速列车车轮失圆状态智能识别方法。首先, 利用静态检测设备采集车轮非圆原始数据, 提出一种数据增强技术构建车轮非圆增强数据集。其次, 将增强数据集输入至高速列车车辆—轨道耦合动力学模型, 获取车轮不同失圆状态下轴箱振动样本集。最后, 通过构建恰当结构与配置参数的一维卷积神经网络 (1-dimensional convolutional neural network, 1-DCNN), 可对轴箱振动信号进行自适应特征提取, 实现对车轮失圆状态的智能识别分类。结果表明: 提出的车轮失圆状态智能识别方法能实现正常车轮、多边形车轮、擦伤车轮、随机非圆化车轮与局部缺陷车轮 5 类车轮失圆状态的智能分类, 准确率达 99.2% (标准差为 0.05), 且单个样本平均识别耗时为 0.4 ms。结合现场试验, 所提方法对实测轴箱振动具有较好识别能力, 测试精度为 95%。与经典的 SVM 和 BP 神经网络相比, 1-DCNN 模型具有更高的识别准确度。

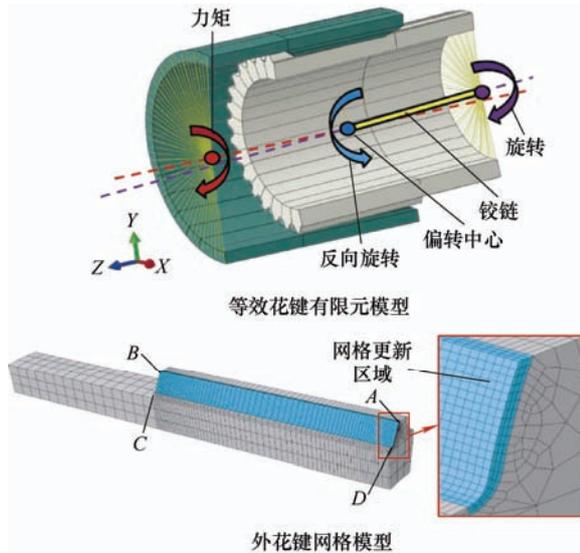
122 柱销式双螺母行星滚柱丝杠预紧机理研究



摘要: 为了实现行星滚柱丝杠正反转双向精密驱动, 迫切需要开展含预紧的行星滚柱丝杠传动研究。构建了一种柱销式双螺母行星滚柱丝杠无背隙传动构型。它利用双螺母的相对转角提供预紧力, 并使用柱销固定该转角从而维持预紧力。建立了包含有双螺母、双滚柱以及丝杠螺纹双向受载状态的静力学模型。提出了仅受预紧力与考虑外载荷时, 柱销式双螺母行星滚柱丝杠的受力和变形计算方法。通过与有限元模型载荷分布和预紧力计算结果的对比, 验证了所建模型的正确性。分析了初始预紧力对螺母相对转角和柱销剪切力的影响, 以及不同外载荷作用下, 螺母预紧力、柱销剪切力和螺纹载荷分布的变化。结果表明, 较小的螺母相对转角便会产生较大的初始预紧力, 柱销剪切力远小于初始预紧力或外载荷。当外载荷增加时, 螺母#1 所受预紧力和柱销剪切力均会增加, 螺母#2 所受预紧力会减小。使得螺母#2 预紧力消失时的外载荷远大于初始预紧力。

133 花键微动磨损和损伤累积的耦合机制及寿命预测

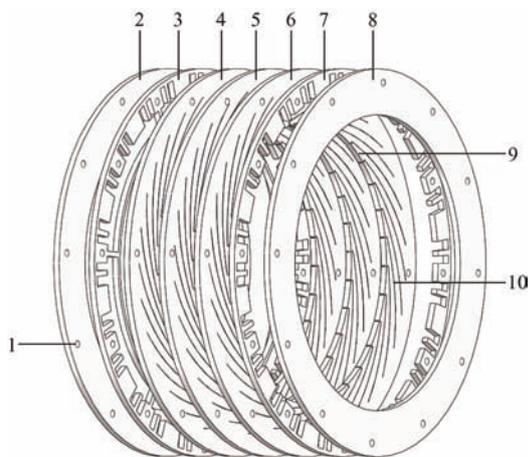
陈 壮 董庆兵 罗振涛 魏 静 孟凡明 戚 勃



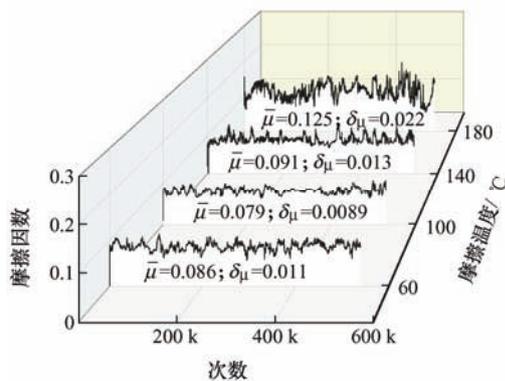
摘要: 渐开线花键联轴器在航空领域应用广泛,花键在复杂工况下往往达不到预期寿命,其中花键轴不对中对花键服役寿命产生较大影响。基于有限元方法建立了高效的花键三维仿真模型,分析内外花键轴偏斜 0.3° 时花键各齿载荷分布规律,基于 Archard 磨损模型计算接触区域各节点的磨损深度,并基于 ABAQUS 的 UMESHMOTION 子程序和 Arbitrary Lagrangian-Eulerian 技术更新网格,采用 Brown-Miller 和 Smith-Watson-Topper 临界平面准则充分考虑花键齿面和齿根区域的应力状态差异,并拟合花键循环寿命、最大磨损深度与磨损系数之间的关联规律,采用试验方法测试表面磨损形貌,验证模型的有效性,为花键联轴器的设计和校核提供指导依据。结果表明:磨损演化逐渐改变初始应力集中区域的几何形状,从而减少了应力集中效应,提高了花键剩余寿命。当磨损系数较大时,花键以磨损失效为主,当磨损系数较小时,花键以疲劳裂纹萌生失效为主。

144 基于分形理论的椭圆弧型指尖密封磨损特性分析

雷俊杰 刘美红 HU Xiangping 王 娟 王学良



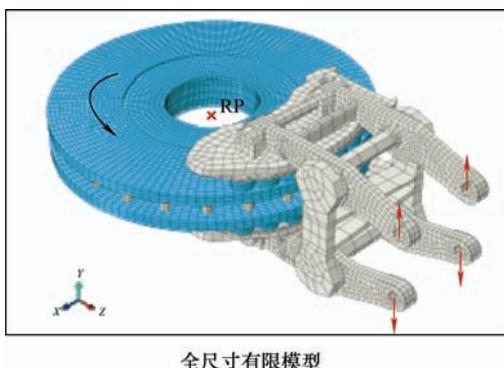
摘要: 指尖密封是一种具有广泛应用前景的新型密封技术,其中磨损特性问题属于该技术领域的研究重点。基于分形理论,考虑指尖密封表面与转子表面间的接触关系,将指尖密封与转子的接触系数引入接触点的面积分布表达式,建立了指尖密封磨损分形模型,并构建了用于表征磨损能量转化和消耗过程的指尖密封能量密度数学模型;提出了椭圆弧型指尖密封的概念与结构,并与圆弧形、渐开线型指尖密封进行性能对比。计算结果表明接触系数始终小于且逼近于 1,两个曲面处处接触,相互包容,接触系数有效;磨损分形模型与经典实验数据对比验证,变化趋势及数量级一致,磨损分形模型可行;存在一个可使体积磨损率最小、能量密度最大的分形维数($D=1.3$);随着特征尺寸不断减小,体积磨损率逐渐减小,能量密度逐渐增大;椭圆弧型指尖密封相较于圆弧形、渐开线型指尖密封更适用于高径向跳动量、较高压差和较高转速的密封部位。



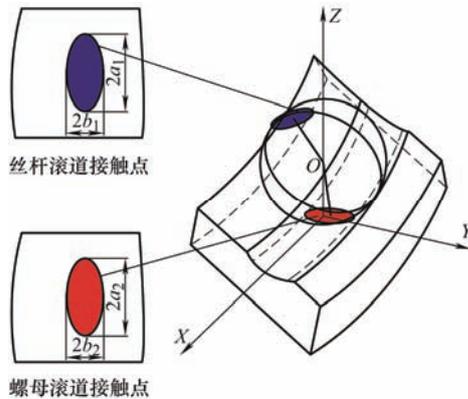
摘要: 针对高频摆动关节轴承摩擦热对自润滑纤维复合材料摩擦磨损性能的影响, 研制了高频使用条件下的玻璃纤维增强聚四氟乙烯(GF/PTFE)自润滑纤维复合材料, 利用 MYB~500 高频高载摆动摩擦磨损试验机, 对其进行不同摩擦温度下的摩擦磨损性能测试, 研究摩擦热作用下材料自润滑性能和磨损性能衰退特征, 分析磨损产物和摩擦表面以及不同摩擦温度下材料的磨损机理。结果表明, 摩擦热对材料自润滑性能影响显著, 适当的摩擦温度范围能够保证材料的自润滑性能, 摩擦温度和摩擦因数之间互为耦合作用, 对材料的磨损性能具有一定的影响; 高摩擦热作用于自润滑过程及机理的改变, 造成材料的磨损性能衰退现象。因此, 不同温度下材料的磨损特征具有明显的差异化, 其中低摩擦温度下(60~120 °C)材料自润滑性能优异, 磨损率很低; 140 °C 摩擦温度条件下材料摩擦磨损性能开始衰退; 材料在高摩擦温度下(140~180 °C)的磨损初期自润滑性能良好、磨损轻微, 而中后期磨损严重。微观分析表明, 低摩擦温度下材料的磨损机理以轻微粘着和疲劳磨损为主; 高摩擦温度下材料的磨损以片状剥落、纤维剪切破坏为主, 且磨损面局部损伤特征明显, 磨损严重。

165 基于接触压力分布和非均匀热流密度的列车制动盘热机耦合分析

张庆贺 卢 纯 吴元科 赵 婧 莫继良

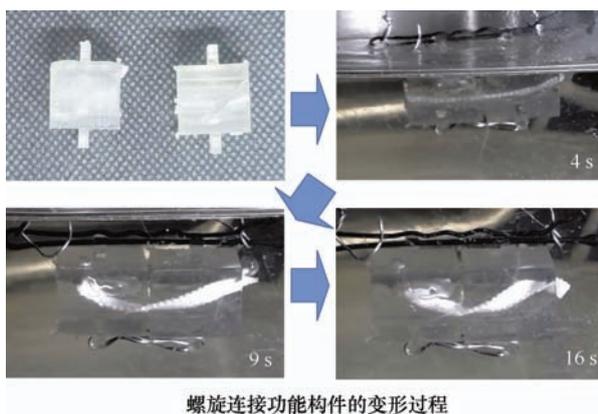


摘要: 针对铁路列车制动闸片摩擦块排布方式对制动盘热机耦合响应状态影响显著的问题, 提出了一种考虑接触压力分布和非均匀热流密度的热机耦合仿真分析方法。通过在轨道车辆制动性能试验台上进行的制动台架试验, 从温度的角度验证了所提方法的正确性。在此基础上, 建立了列车全尺寸盘型制动系统有限元仿真分析模型, 对现有铁路列车制动闸片摩擦块的排布方式进行了优化分析。结果表明, 合理的制动闸片摩擦块排布方式可以显著降低制动盘面的温度和应力峰值, 在改善制动盘面温度和应力分布的同时, 提供较为优异的制动性能。研究成果可为铁路列车盘型制动系统热机耦合分析提供一种快速有效的仿真分析方法, 同时可为铁路列车制动闸片摩擦块的排布优化提供指导方向。

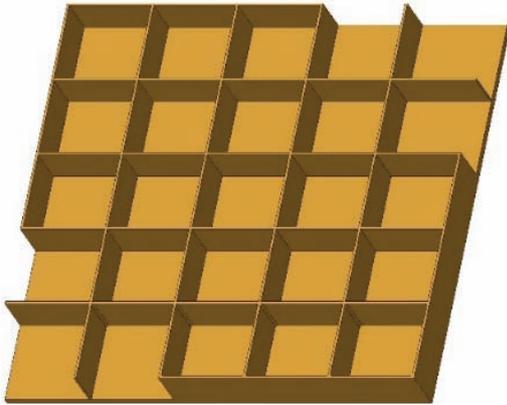


摘要: 针对以往研究中滚珠丝杠副摩擦力矩计算方法中未考虑润滑作用对其影响,或未考虑接触弹性滞后效应以及滑移摩擦效应对其影响的情况。首先基于单个滚珠接触效应建立其热弹流润滑方程;然后在考虑润滑效应的基础上建立其黏性摩擦力、弹性滞后摩擦力及滑移摩擦力方程;最后提出一种基于全滚珠载荷分布与热弹流润滑耦合的滚珠丝杠副摩擦力矩计算模型,建立了预紧力、转速与摩擦力矩之间的耦合关系。试验结果表明,当预紧力从1 kN变化到6 kN,在滚珠丝杠低转速(100 r/min)时,摩擦因数变化范围为0.005 6~0.006 5。随转速的提高摩擦因数升高且变化量逐渐增大,说明国际标准 DIN ISO3408-3:2006 中将滚珠丝杠副空载摩擦力矩测量速度定为100 r/min具有合理性,验证了所提出的摩擦力矩计算方法的准确性。

/// 数字化设计与制造 ///



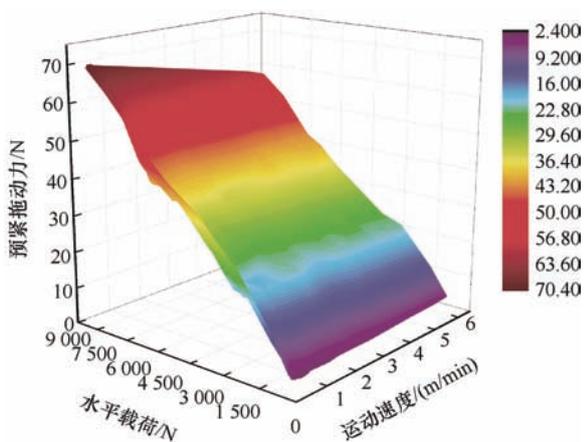
摘要: 4D 打印通过材料和结构的设计将非线性的控制逻辑打印在材料中,制备可以在温度、磁场、紫外线等激励下发生几何结构、功能、性能等可控转变的功能构件。以双层结构的功能构件为研究对象,通过对温度激励下功能构件基体相和增强相的热膨胀进行分析,研究了4D打印功能构件的热致变形机理,得到了基于形状记忆聚合物纤维排布的功能构件变形模式。在此基础上,分析了功能构件的3D打印工艺参数影响,建立了功能构件热致变形的近似解析模型。采用偏最小二乘法拟合了弯曲和螺旋变形的功能构件热致变形等效模型,通过4D打印的功能构件试件的变形特征与模型计算对比,验证了所拟合的等效模型的正确性。最后,设计并4D打印制备了自变形盒型功能构件和自组装螺旋连接功能构件,验证了功能构件形状、功能和特性的设计和可控编辑,对设计4D打印的功能构件具有指导意义。



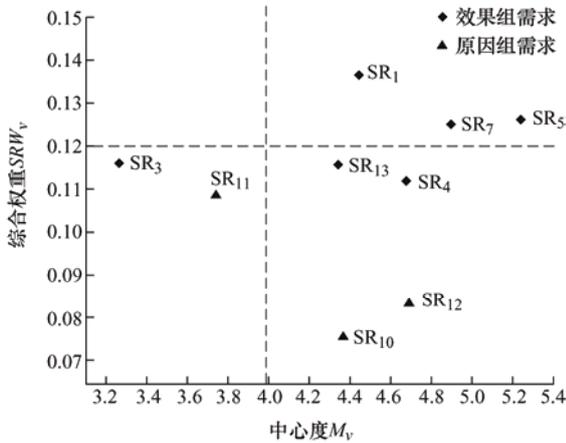
摘要: 航空结构件作为飞机中占比最大的零件,具有大尺寸、多槽腔、弱刚性和高材料去除率等特点,如何在保证加工程度稳定的前提下高效去除结构件材料是航空结构件加工的一大瓶颈问题,零件频响的快速预测是选择高效切削参数的前提。通过对典型航空结构件加工特征的分类和提取,构建了“槽腔-筋”复合加工特征,建立了其参数化的频响特性分析模型,并计算了复合加工特征若干刚度薄弱点的频响特性。将其与复合加工特征零件、整体零件相应位置的频响函数进行对比,结果表明模型预测精度满足要求,验证了使用复合加工特征模型频响特性代替整体零件模型频响特性的可行性。同时,复合加工特征有限元模型的自由度数量远小于整体零件有限元模型自由度数量,充分体现了所提出的方法预测结构件频响的快速性。

208 基于 THK-SHS35V 型号的滚动直线导轨副预紧力精确计算方法研究

周长光 王晓艺 冯虎田 欧屹 周华西

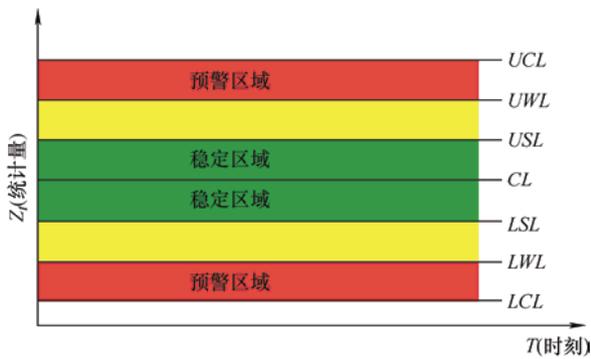


摘要: 针对目前只能通过滚动体过盈量粗略判定滚动直线导轨副预压等级(轻、中、重)的现状,首先基于 Hertz 接触理论建立了载荷和预紧拖动力关系模型,然后创新性构建了一种载荷和预紧拖动力同步在线测量系统,测量了不同载荷、运动速度下 THK-SHS35V 型号的滚动直线导轨副的动态摩擦因数,进而得到其 Stribeck 曲线。将摩擦因数与载荷-预紧拖动力关系模型相结合,最终建立了一种滚动直线导轨副预紧力精确计算模型。试验结果表明,所建立的预紧力计算模型能有效预测被测样件的预紧力,其最大相对误差为 18.91%。提出利用 Stribeck 曲线得到动态摩擦因数经验公式建立预紧力计算模型的方法,可进一步扩展应用于其他型号的滚动直线导轨副。

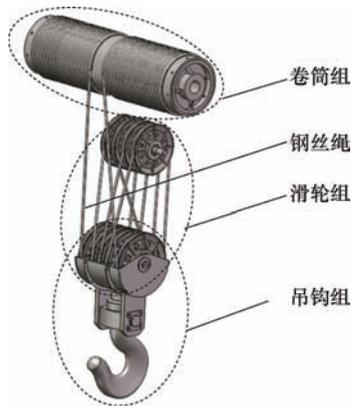


摘要: 针对产品概念设计阶段中可持续设计需求重要性难以准确评估的问题, 提出一种考虑用户权重不一致性和需求交互影响的可持续设计需求评估模型, 以支持产品开发在下游过程中的环境影响评估。提出基于可信度函数的改进 Kano 模型获取用户可信度实现可持续设计需求的评价数据集成, 并利用信息熵得到可持续设计需求的初始权重。在此基础上, 借助模糊决策和试验评估实验室法(Decision-making and trial evaluation laboratory, DEMATEL)获取各个需求的影响关系有向图, 构建考虑需求交互影响的综合权重函数, 实现可持续设计需求的排序和重要性分析。以电冰箱产品开发为例实现了 13 个可持续设计需求重要性的评估和分析, 同时进行方法对比和敏感性分析, 验证所提方法的可靠性和可行性。

232 面向多品种小批量制造过程的 NAD-EWMA 控制图多目标优化设计方法



摘要: 针对面向多品种小批量制造过程设计质量控制图面临的样本数量少、分布不确定问题, 提出一种基于非参数、自适应、动态 EWMA 控制图的多目标优化设计方法。基于非参数统计理论与自适应控制的思想, 构建与样本数据分布无关的控制图统计量, 并设计一种基于聚类距离的动态抽样方法实现样本抽样; 在此基础上, 考虑统计性、经济性建立控制图多目标优化设计模型, 基于改进人工鱼群算法与云清晰综合评价方法实现对模型求解, 进而构建面向多品种小批量制的非参数自适应动态 EWMA 控制图。最后, 以航天复杂构件制造过程为例, 对制造过程进行动态监控。结果表明, 所提方法能够快速监控到质量异常, 监控性能高, 验证了该方法的有效性和可行性, 为多品种小批量制造过程实际的质量监控提供一种有效的途径。



摘要: 追本溯源为质量问题纠正的前提,为实现产品设计过程中质量问题的源头追踪,基于产品设计质量特性的关联关系和波动传播机制,提出了设计质量特性波动溯源分析方法。首先,提出了基于矩阵运算的多领域关联信息的统一建模方法,以产品的设计规则和装配关系为基础关联信息,建立了设计质量特性局部关联矩阵,并通过矩阵运算得到设计质量特性全局关联矩阵,进而映射为设计质量特性全局关联网络,建立了完整的、可追溯的设计质量特性关联模型;然后,提出了波动影响的量化分析方法,建立了节点的波动度量模型和关联边的波动传播强度量化规则,基于此可对不同关联传播形态的波动传播进行风险量化评估;在上述研究的基础上,通过对质量问题-问题原因-设计质量特性多层网络进行分析,得到针对某一特定质量问题的象设计质量特性,对设计质量特性关联网络进行上游广度优先搜索,并进行设计质量特性波动诊断,得到源波动设计质量特性及其波动路径,对波动路径的波动传播风险进行量化分析即可得到最终溯源结果。最后,通过起重机卷筒变形实例验证了该方法的有效性;结果表明,相较于其他算法,该方法在准确性以及算法效率和成本的平衡方面更具有优势。

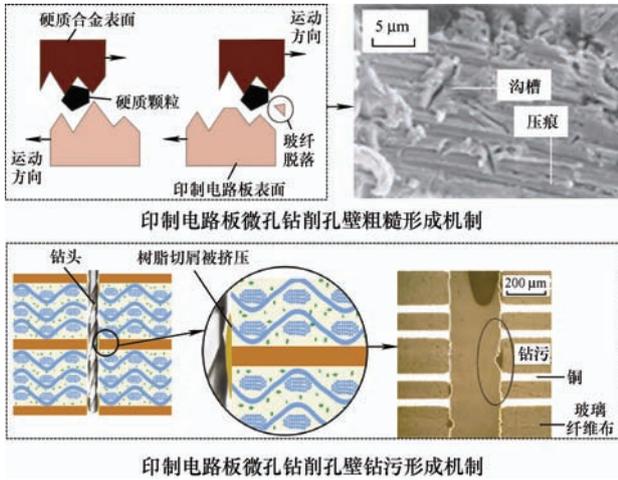
/// 制造工艺与装备 ///

265 微小孔钻削刀具制造技术研究进展综述

袁松梅 陈博川 邵梦博

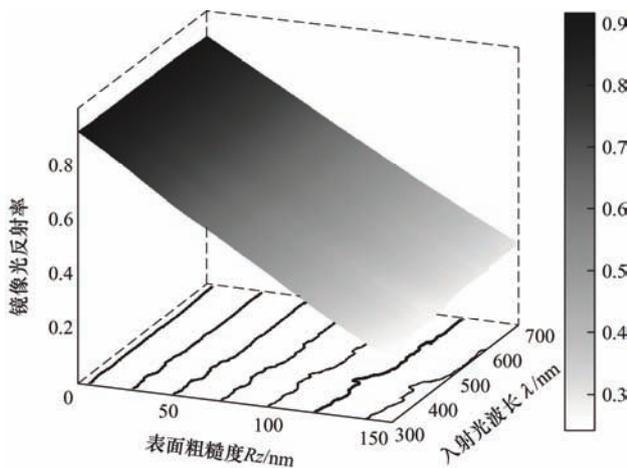


摘要: 随着航空航天、医药、汽车及电子工业的迅速发展,精密设备及微结构的制造需求逐年增加,微小孔($d \leq 1\text{mm}$)作为微结构中的常见难加工特征,其制造技术是限制相关领域装备发展的关键所在,因此,微小孔制造一直是机械加工行业的研究热点和难点,诸多学者从多种维度进行了相关研究,形成了丰硕的研究成果。由于微小孔钻削技术现阶段仍然是微小孔制造的核心工艺,而刀具性能则是保证微小孔钻削的核心要素,因此总结了近年来微钻刀具制造领域的重要技术进展,并从微钻刀具的材料选择、几何角度设计、制造工艺方法等角度展开叙述,介绍了最新的微钻刀具材料研究进展、解释了微钻刀具几何角度的设计方法,总结对比了国内外最新的微钻刀具制造技术,包括磨削、电火花磨削、高频激光加工技术等。由于PCD微钻具有优异的切削性能和极大的技术潜力,还重点介绍了PCD微钻制造技术及最新研究成果,并针对不同材料、工况下的微小孔钻削加工工艺参数进行了总结。

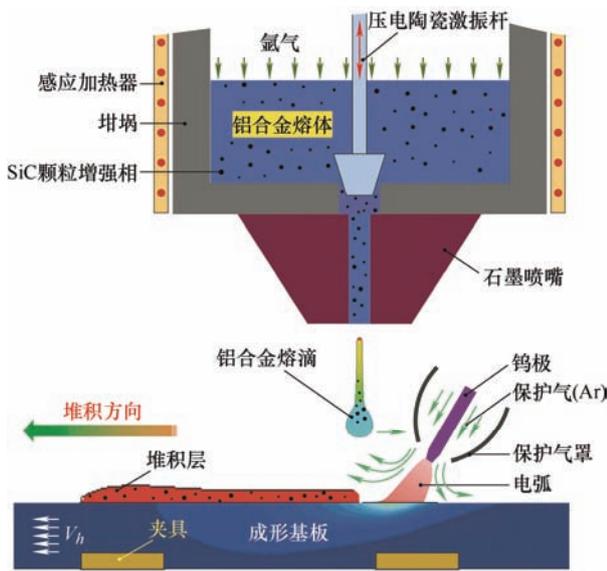


摘要: 孔是实现印制电路板层间互联及电子元器件装配的核心组成单元, 机械钻孔是印制电路板制孔的主要方法。要在印制电路板上进行高密度孔群的连续可靠、高质量、高一致性和高稳定性加工非常困难, 涉及的异质多元多层复合材料机械加工理论复杂, 也对加工刀具、加工技术提出了严峻挑战。从机械加工的角度归纳了典型印制电路板分类、组成结构与热力学特性, 并提出其机械钻孔加工面临的难点; 从材料变形与断裂、钻削热、钻削力与扭矩、孔创成机理、刀具失效机制五个方面, 总结了典型印制电路板钻削理论的最新进展, 综述了印制电路板用钻头设计、钻孔加工工艺和钻削过程检测技术的研究现状, 从印制电路板微孔钻削加工理论、微细刀具优化设计、低温介质辅助钻削加工与孔质量无损检测方面指出了现有研究存在的问题, 并结合新一代高端印制电路板发展趋势与孔制造需求, 提出了未来印制电路板孔加工研究应重点关注的方向。

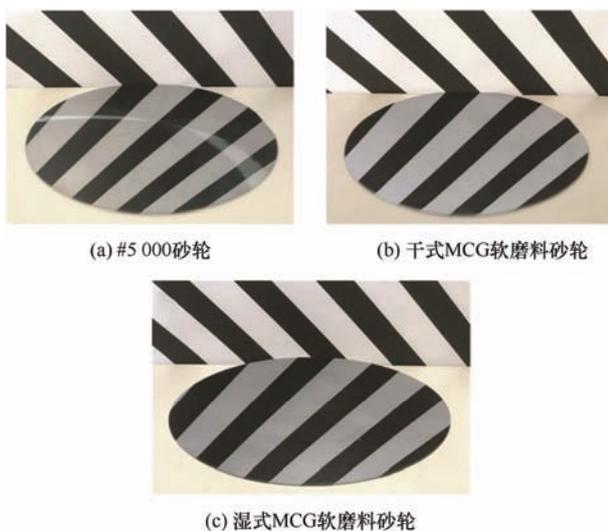
308 基于多波长散射光特性的铝合金超精密车削表面粗糙度测量方法研究



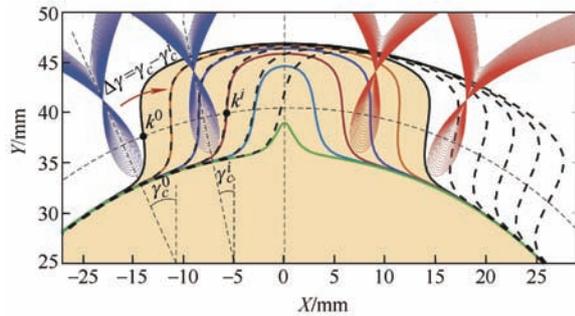
摘要: 针对超精密车削表面, 提出一种基于多波长散射光特性的表面粗糙度测量方法, 以铝合金为例对该方法进行验证。首先建立超精密车削表面形貌—散射光模型并开展验证实验, 定量实验结果证明建立的散射光模型平均误差仅为1%。基于散射光模型研究刀痕纹理方向、刀痕宽度(每转进给量)和刀痕高度(表面粗糙度峰谷值)对镜像光反射率的影响, 研究结果证明表面粗糙度是影响镜像光反射率的关键因素。在此基础上进一步建立 300~700 nm 波长范围内镜像光反射率平均值和表面粗糙度之间的定量关系, 基于超精密车削表面的测量结果对该定量关系进行验证。所提出新方法获得的粗糙度测量结果与原子力显微镜测量结果吻合, 最大相对误差仅为 7.5%。



摘要: 基于计算流体力学方法, 考虑电弧力、碳化硅颗粒 (SiC_p) 增强相与液态铝合金基体相之间的相互作用以及表面张力等因素, 建立了 SiC_p 增强铝基复合材料钨极氩弧焊 (TIG) 电弧辅助熔滴沉积增材制造中的三维瞬态熔池行为数值模型, 通过与堆积试样的横截面形貌、SiC_p 分散状态实验结果对比, 验证了熔池行为数值模型的有效性。通过数值模拟, 揭示了堆积过程熔池峰值温度演变规律、熔滴冲击诱导的熔池动力学行为、熔池流态对 SiC 颗粒迁移行为的影响。结果表明, 堆积过程涉及熔滴冲击、合并、铺展、熔池回弹 4 个阶段; 冲击点附近出现重熔, 熔滴冲击造成熔池中心区域产生明显的 V 字形凹陷, 熔池边缘形成冠状隆起; 在熔体拖拽力的作用下 SiC 颗粒更多的分布于堆积层两侧; 熔滴冲击引起的熔池内局部高压以及熔池底部对流, 抑制了 SiC 颗粒向熔池底部沉降。



摘要: 针对干式机械化学磨削 (Mechanical chemical grinding, MCG) 单晶硅过程中易产生磨削烧伤、粉尘多、加工环境差等问题, 研制一种可用于湿式 MCG 单晶硅的新型软磨料砂轮, 并对砂轮的磨削性能及其磨削单晶硅的材料去除机理进行研究。根据湿式机械化学磨削单晶硅的加工原理和要求, 制备出以二氧化硅为磨料、改性耐水树脂为结合剂的新型软磨料砂轮。采用研制的软磨料砂轮对单晶硅进行磨削试验, 通过检测加工硅片的表面/亚表面质量对湿式 MCG 软磨料砂轮的磨削性能进行分析, 并与传统金刚石砂轮、干式 MCG 软磨料砂轮的磨削性能进行对比。采用 X 射线光电子能谱仪对磨削前后硅片的表面成分进行检测, 分析湿式 MCG 加工硅片过程中发生的化学反应。结果表明, 采用湿式 MCG 软磨料砂轮加工硅片的表面粗糙度 R_a 值为 0.98 nm, 亚表面损伤层深度为 15 nm, 湿式 MCG 软磨料砂轮磨削硅片的表面/亚表面质量远优于传统金刚石砂轮, 达到干式 MCG 软磨料砂轮的加工效果, 可实现湿磨工况下硅片的低损伤磨削加工。在湿式 MCG 过程中, 单晶硅、二氧化硅磨粒与水发生了化学反应, 在硅片表面生成易于去除的硅酸化合物, 硅酸化合物进一步通过砂轮磨粒与硅片间的机械摩擦作用被磨粒从单晶硅表面去除, 在机械与化学作用复合作用下实现硅片超低损伤磨削加工。



摘要:以航空发动机机匣为代表的薄壁回转体表面分布有大量岛屿状的高凸台结构,此类零件普遍存在加工变形大、刀具损耗严重等制造难题。旋印电解加工采用回转体工具电极,通过工件与工具的同步对转实现阳极材料的逐层均匀溶解,对于机匣等薄壁回转体零件加工具有独特优势。开展了旋印电解凸台成形过程的仿真研究,建立了电极等效运动分析模型和阳极溶解数学模型,掌握岛屿状高凸台结构旋印电解加工成形规律。仿真结果表明,阴极进给深度和窗口宽度对凸台轮廓形状有着很大的影响。随着阴极工具的不断进给,阴极窗口运动轨迹的包络线逐渐由尖锥形变为纺锤形,凸台侧壁锥度不断减小,呈现从正锥形→垂直→倒锥的变化趋势。阴极窗口宽度的增加会导致窗口运动轨迹倾斜角度增大,有利于获得锥度较小的凸台侧壁轮廓。对于任意阴极窗口宽度的凸台侧壁轮廓均可以通过某一宽度的轮廓通过角度旋转偏置获得。此外,旋印电解加工间隙呈现出非平衡态变化趋势。在仿真分析的基础上,进一步开展了旋印电解加工试验研究,在镍基合金 GH4169 薄壁回转体表面加工出岛屿状高凸台结构。试验结果表明旋印电解加工技术对于具有较大高度复杂异形岛屿状凸台结构的薄壁回转体零件具有较好的加工能力。

CONTENTS

- 1 Design and Experiment of a Soft Pneumatic Actuator with Variable Stiffness by Magnetic-induced**
LI Te CUI Boyao LIU Haibo LI Yuxin ZHANG Guoqing ZENG Fanlian WANG Yongqing
- 13 Novel Mechanism Design and Prototype Verification of a Single Folding Umbrella Antenna for Repeatable Deploying and Furling Function**
ZHANG Shuxin YU Yiqi CAO Zheng LI Tuo LUO Kang
- 22 Reliability Optimization Design Method of Constrained Metamorphic Mechanism Oriented to the Stability of Configuration Transformation**
YANG Qiang SUN Benqi LI Shujun DAI Jiansheng
- 38 Design of Flexible Joint Controller Based on Desired Dynamics**
WANG Xinqing WANG Xin SHI Nianling CHEN Zhaopeng
- 46 6-DOF Wheeled Parallel Robot and Its Design Method**
CHU Hongpeng QI Bai WANG Huiqi QIU Xuesong ZHOU Yulin
- 54 Many-objective Optimization Design for TriRocker Working Mechanism of Face-shovel Hydraulic Excavator**
XU Gongyue FENG Zemin GUO Erkuo
- 66 Study of Gear Meshing Efficiency of Electric Drive Axle with Considering System Deformation**
WANG Qin HE Di GUI Liangji FAN Zijie
- 76 Simulation Data-driven Enhanced Unsupervised Domain Adaptation for Bearing Fault Diagnosis**
SHAO Haidong XIAO Yiming YAN Shen
- 86 Investigation on the Fluid-structure Interaction Dynamic Behaviors of Water Lubricated Sandwich Bearing**
XIE Zhongliang JIAO Jian YANG Kang
- 98 Research on State-dependent Dynamic Characteristics of H-type Dual Drive Feed System Based on Electro-mechanical and Rigid-flexible Coupling**
LIU Qi LU Hong ZHANG Xinbao DAI Jiashun

- 110 Identification Method of Wheel Out-of-roundness State of High-speed Train Based on Axle Box Vibration and Dynamic Model**
DENG Leixin XIE Qinglin TAO Gongquan WEN Zefeng
- 122 Preload Mechanism of the Double-nut Planetary Roller Screw Mechanism with Pins**
FU Xiaojun LI Xin MA Shangjun WANG Haiwei LIU Geng
- 133 Coupling Mechanism of Fretting Wear and Damage Accumulation of Spline Couplings and Service Life Prediction**
CHEN Zhuang DONG Qingbing LUO Zhentao WEI Jing MENG Fanming QI Qing
- 144 Analysis of Wear Characteristics of Elliptic Arc Finger Seal Based on Fractal Theory**
LEI Junjie LIU Meihong HU Xiangping WANG Juan WANG Xueliang
- 158 Study on Thermal Degradation of Wear Properties of GF/PTFE Self-lubricating Fiber Composites**
LIUJian LI Weibo PANG Xianjuan SONG Chenfei DU Sanming ZHANG Yongzhen
- 165 Thermo-mechanical Analysis of Railway Brake Disc with the Consideration of Contact Pressure Distribution and Non-uniform Heat Flux Density**
ZHANG Qinghe LU Chun WU Yuanke ZHAO Jing MO Jiliang
- 176 Modeling and Analysis of Friction Torque of Ball Screw Considering the Thermal Elastohydrodynamic Lubrication**
ZHAO Jiajia SONG Xianchun JIANG Hongkui LIN Mingxing SONG Liwei
- 189 Research on Behaviors of Functional Components Based on 4D Printing and Design of Temperature-driven Deformation**
GAO Yicong ZENG Siyuan XU Junjun ZHENG Hao TAN Jianrong
- 200 Rapid Frequency Response Function Prediction of Aeronautical Structural Parts Based on Composite Machining Features**
YIN Jia TANG Yuyang ZHANG Jun ZHAO Wanhua
- 208 Research on An Explicit Preload Calculation Method of Linear Rolling Guide THK-SHS35V**
ZHOU Changguang WANG Xiaoyi FENG Hutian OU Yi ZHOU Huaxi
- 218 Research on the Evaluation of Product Sustainable Design Demands Considering the Inconsistency of Users' Weights and Complex Interaction**
JING Liting CHEN Yingchen XIE Jing TAN Bowen JIANG Shaofei
- 232 Quality Control Method of Key Processes in Multi Variety and Small Batch Manufacturing Process Based on NAD-EWMA Control Chart**
CHEN Keqiang JIANG Xingyu LIU Weijun TIAN Zhiqiang XU Xiaowen LI Shilei SUO Yingqi
- 249 Traceability Analysis of Design Quality Characteristics Based on Association Network**
LI Jinping YANG Bo WANG Dianxi CHENG Baozhong LIU Yanchao GAO Changqing

- 265 A Review of Research Advances in Micro-drill Manufacturing Technology**
YUAN Songmei CHEN Bochuan SHAO Mengbo
- 283 Drilling of Heterogeneous Multi-layer Printed Circuit Boards: A review**
HUANG Xin WANG Chengyong HE Yuxing FANG Gexian YANG Tao YAO Junxiong
ZHENG Lijuan
- 308 Investigation on Measurement Method of Ultra-precision Turning Surface Roughness Based on Multi-wavelength Scattering Characteristic**
HE Chunlei ZHANG Jianguo WANG Shuqi REN Chengzu
- 318 Molten Pool Dynamics and Particle Migration Behavior during TIG-assisted Droplet Deposition Manufacturing of SiC Particle-reinforced Aluminum Matrix Composites**
DU Jun WU Yunxiao JIANG Minbo WEI Zhengying
- 328 Development and Evaluation of Soft Abrasive Grinding Wheel for Silicon Wafer in Wet Mechanical Chemical Grinding**
ZHANG Yu KANG Renke GAO Shang HUANG Jinxing ZHU Xianglong
- 337 Investigation of the Shaping Process of Island-like High Convex Structure on Thin-walled Revolving Part during Counter-rotating Electrochemical Machining**
WANG Dengyong LE Huayong ZHU Di