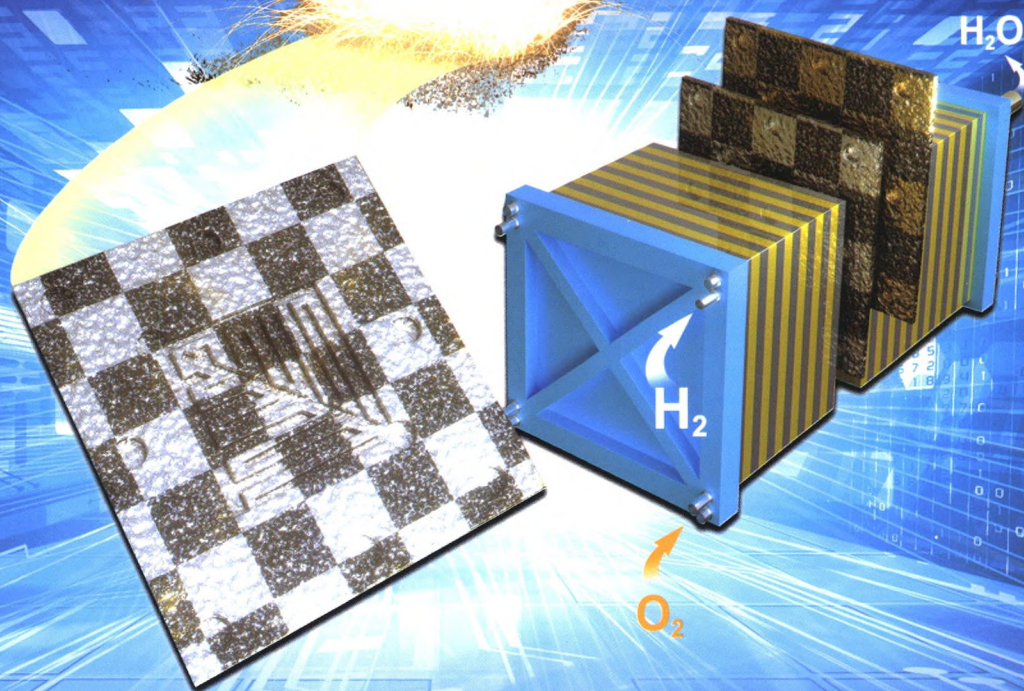


机械工程学报®

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING



选区激光熔化工艺参数对燃料电池 316L 不锈钢双极板性能的影响

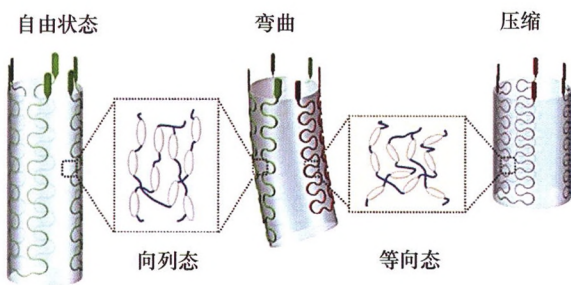
林开杰 董伟菴 顾冬冬 全景峰 乔竞驰 王超超

57卷 **9** 期 **半月刊**
2021年5月

机器人及机构学

1 人工肌肉驱动器研究进展综述

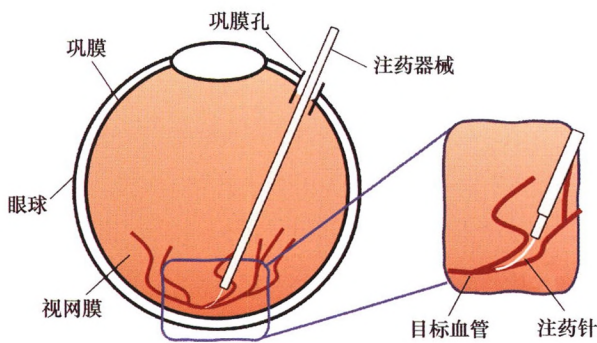
邢志广 林 俊 赵建文



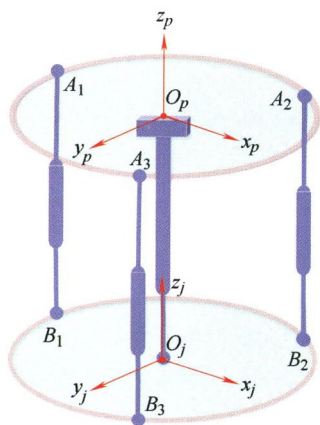
摘要：人工肌肉通常是指能够在外界物理或化学刺激下发生伸缩、膨胀、弯曲、扭转等运动并对外做功的柔性材料或器件，借助人工肌肉驱动可大幅提高机器人的柔顺适应能力和人机力学交互的舒适性。人工肌肉的发展已有超过六十年的历史，其激励方式也包括电、热、内压等多种形式；尝试从人工肌肉种类、驱动原理、性能指标、应用场合、发展趋势等方面对人工肌肉相关内容予以较全面的综述，以期为机器人或其他领域感兴趣的学者提供参考和对比。

12 基于多点力约束的视网膜手术机器人的导纳控制

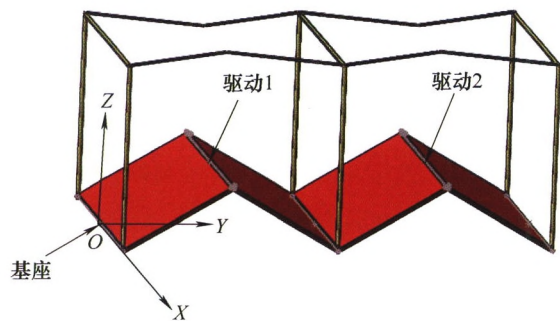
贺昌岩 杨 洋



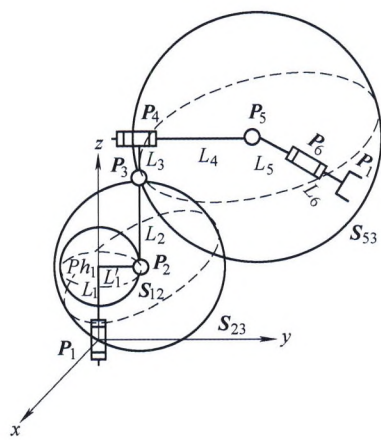
摘要：在视网膜血管注药手术中，手术器械与眼球巩膜刺入孔和视网膜目标血管处产生接触。为保证手术过程中这两处组织的受力在安全阈值内，提出了一种基于多点接触力的机器人约束控制算法。以手术器械轴部与眼球巩膜的接触力（巩膜力）和器械尖端与视网膜血管的接触力（尖端力）为输入，设计了机器人的导纳控制器。导纳控制器输出机器人坐标系下器械尖端处及巩膜接触位置的速度。这两处的运动速度在转换到同一坐标系下后对机器人进行运动约束。在通过导纳算法控制机器人的速度时，提出了一种非线性速度轨迹规划方法，实现速度的平滑变化。所提出的约束控制算法在硅胶眼球模型上进行了模拟视网膜注药试验，试验结果显示在外部扰动存在的情况下，巩膜力和尖端力均被保持在给定阈值之内，表明了所提出的多点力约束机器人控制算法对提高手术安全方面的有效性。



摘要: 针对并联式结构平台姿态稳定时对高频扰动信号跟踪的响应滞后以及负载、摩擦力等非线性因素等影响稳定精度问题,提出了一种融合前馈与姿态预测的并联稳定平台自抗扰控制(Active disturbance rejection control, ADRC)控制策略。通过对电动伺服缸、平台运动学建模,得到了电动伺服缸状态方程和平台稳定时电动缸位移与电动机电流控制量转化关系。基于 ADRC 扩张状态观测器对伺服电动缸在时变摩擦力和负载力等干扰下进行观测并补偿,并采用非线性跟踪微分器改善控制过程中电动机的超速报警与快速性之间的矛盾。最后将姿态预测方程与前馈控制相结合,提高了系统的响应速度,减小了稳定平台跟踪误差。在具有俯仰、横滚和垂直平移三个自由度的并联式稳定平台上进行仿真与试验,相比传统 PID 或 ADRC 控制方法,提出的控制策略不仅使稳定平台有很强的抗负载扰动能力,而且具有更快的响应速度和更高的稳定精度。



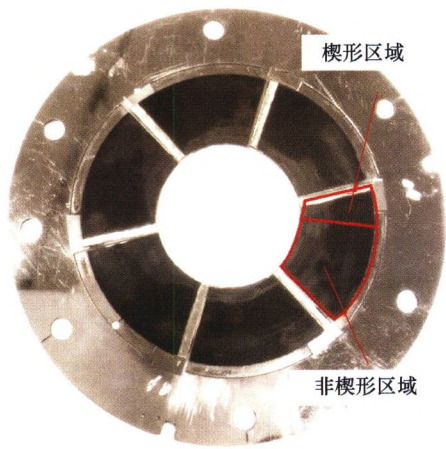
摘要: 为了解决平板折展机构单元构型种类少的问题,对平板折展机构进行了构型综合,并优选出了一种机构进行运动学分析。基于对平板折展机构收拢原理的分析,运用旋量理论提出了一种平板折展单元机构的构型综合方法,综合出多种平板折展机构构型。通过分析比较优选出一种运动副全部为转动副的平板折展机构,对其构型机理及几何特征进行了分析,并基于旋量约束拓扑图计算了机构自由度。然后对其进行了运动学分析,分析了各个构件的角速度,进而推导得到了各个构件的质心线速度与质心线加速度,并进行了数值计算与仿真验证,验证了理论分析结果的正确性。研究内容可以为这类机构的设计分析与工程应用提供参考。



摘要：空间连杆机构位移分析是机构运动学和动力学研究的基础，由于空间连杆机构输入输出位移参数多且强非线性，尽管经过多年研究已经有多种位移分析的求解方法，但多维高阶代数方程组求解至今仍然是困扰机构学与机器人学研究的难题。总结了传统空间连杆机构位移分析理论基本求解过程，阐述了空间连杆机构位移分析中三种常见的几何代数系统，归纳了空间连杆机构位移分析所需的共形几何代数(Conformal geometric algebra, CGA)基本理论。以一种空间6R串联机构和空间RRSRR机构为例，将CGA引入到空间连杆机构位移分析中，把空间连杆机构几何模型中的关节特征点映射到五维共形空间中，建立了关节特征点的CGA表达式，基于特征点构造若干直线、平面或球面等几何体，通过几何体的外积计算获得待求关节交点的CGA形式表达方程，再利用CGA理论框架内的内积或幂零性质直接获得空间连杆机构的关节转角余弦表达或无增无漏根的一元高次位移分析输入输出方程，从而获得空间连杆机构位移分析的全部符号形式解析解。方法实现了几何语言直接(脱离坐标)求解空间连杆机构位移分析，避免了经典机构学理论中复杂的旋转坐标变换矩阵运算以及多元高次非线性方程组求解。基于计算机代数计算系统Maple16编程，数字实例计算表明，方法正确有效，具有较好的几何直观性。

机械动力学

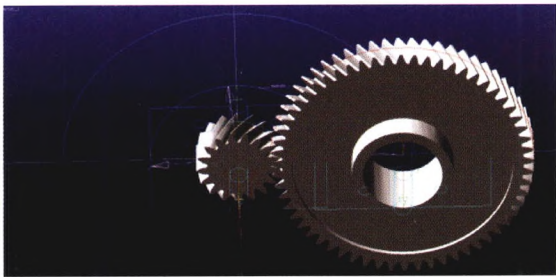
51 楔形入口高度对气体止推箔片轴承性能仿真和试验研究



摘要：简要介绍了气体止推箔片轴承的结构，建立了止推轴承数值求解的理论模型，利用有限元法和有限差分法耦合的方式求解气体雷诺方程和气膜厚度方程。通过仿真分析获得了止推轴承承载力随着楔形入口高度的变化关系，发现存在一个最佳的楔形入口高度使轴承的承载力达到最大；在最佳楔形入口高度之前，轴承承载力随着楔形入口高度的增大而急剧增大；在最佳楔形入口高度之后，轴承承载力随着楔形入口高度的增加而缓慢减小。搭建了止推轴承性能测试试验台，对试验台各部分及试验原理进行简单介绍。同时，加工制作了3个具有不同楔形入口高度(20 μm 、70 μm 、114 μm)的止推轴承，并在15 000 r/min、21 000 r/min、25 000 r/min、28 000 r/min 转速下进行了极限承载力试验，与仿真分析进行对比。结果表明：楔形入口高度为20 μm 的止推轴承所表现出来的轴承性能最好，楔形入口高度为70 μm 和114 μm 的止推轴承性能相差不大。在设计、制造止推轴承时，选取适当的轴承楔形入口高度是十分重要的。

61 疲劳点蚀斜齿轮动力学仿真预测与故障识别试验研究

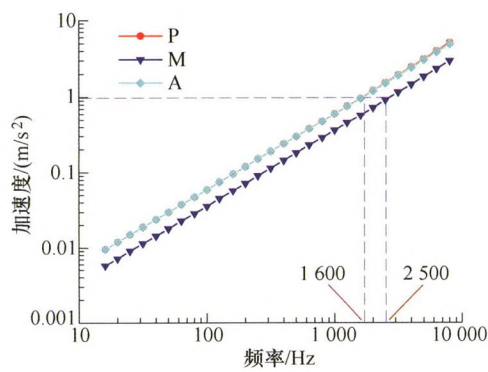
陈 勇 李金锺 臧立彬 刘意气 毕旺洋 杨小鹏



摘要：斜齿轮是汽车变速器的核心传动零部件，齿面点蚀是影响汽车变速器传动平稳与可靠性的主要故障形式之一。通过冲击函数法，接触线百分比法和齿轮系统动力学理论，建立了不同点蚀类型的斜齿轮系统动力学模型，分析了点蚀斜齿轮系统的动态响应。同时，通过齿轮疲劳点蚀试验，获得了不同点蚀程度齿轮振动加速度信号，并通过快速傅里叶变换(Fast Fourier transformation, FFT)分析，得到了不同点蚀程度对齿轮振动加速度的时域和频域特征变化规律，验证了动力学模型的准确性。结果表明，运用动力学方法分析斜齿轮系统动态响应可以对斜齿轮点蚀程度和点蚀形式进行预测和识别。

71 直板叶片冲击振动响应试验的动力学相似设计方法

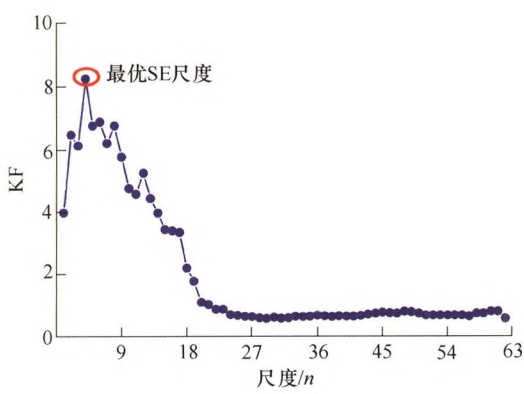
何凤霞 罗 忠 李 雷 李玉奇



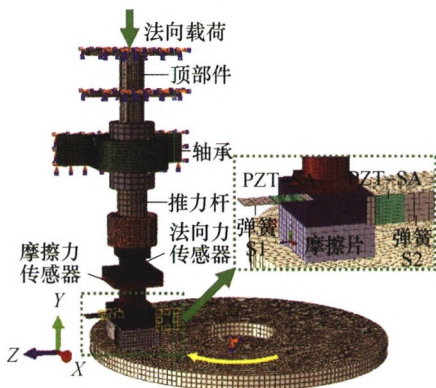
摘要：针对直板叶片受冲击载荷激励瞬态响应难以预测的问题，提出一种冲击载荷作用下的虚拟模态能量相似方法(Similitude based on virtual mode and statistical energy, SVMSE)。采用统计能量分析、虚拟模态综合法和动力学相似理论相结合的方法，推导直板叶片在冲击载荷作用下时域和频域的响应相似关系，并通过设计实例，采用数值仿真验证所提出 SVMSE 动力学相似设计方法的有效性和正确性，结果显示，预测的加速度时域响应基本与原型结果保持一致，冲击响应谱的预测误差小于 2 dB。此外，试验结果表明直板叶片的加速度时域响应与仿真结果一致，冲击响应谱在整个分析频段内误差小于 6 dB。因此，SVMSE 相似设计方法能够预测直板叶片的冲击响应，为航空发动机直板叶片受高频冲击载荷的模型试验研究提供理论基础。

78 基于自适应增强差分积分形态滤波器的滚动轴承故障特征提取方法

苗宝权 陈长征 罗园庆 赵思雨

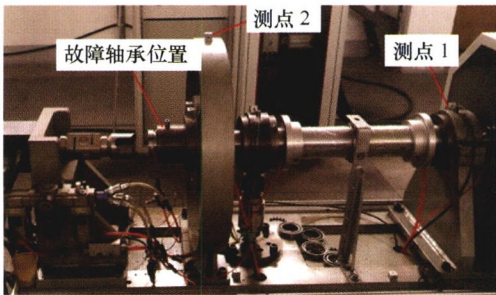


摘要：为了在强背景噪声下提取滚动轴承微弱的故障特征信息。提出一种新的自适应增强差分积分形态滤波方法(Adaptive enhanced difference product morphological filter, AEDPO)用于滚动轴承早期的故障诊断。首先，结合已有的四种形态学滤波算子滤波的能力，提出一种改进的增强差分积分形态滤波算子(Enhanced difference product morphological filter operation, EDPO)，该算子具有在强背景噪声下提取周期性脉冲特征的能力。随后，针对形态滤波过程中最优的结构元素(Structuring element, SE)尺度选择问题，提出一种新的自适应选择策略，名为峭度特征能量积(Kurtosis feature energy product, KF)。最后，EDPO 算子凭借最优的 SE 尺度进行滤波处理，提取滚动轴承早期的故障特征。通过对仿真信号和实测滚动轴承内圈故障信号进行分析，结果表明 AEDPO 方法能够有效地在强背景噪声中提取滚动轴承微弱的故障特征，相比于传统的形态滤波方法更能体现该方法的准确性和优越性。



摘要：针对机械系统中普遍存在的摩擦振动现象，结合试验分析和数值模拟的方法，提出采用压电材料进行摩擦振动能量收集的新思路。本研究搭建了一种既能产生摩擦振动，同时又能利用压电材料将振动能量转化为电能的试验装置，摩擦学试验结果验证了利用压电材料实现摩擦振动能量收集的可行性。利用有限元软件 ABAQUS 对试验过程进行模拟，首先采用复特征值分析法对压电式能量收集器的响应特性进行分析，结果表明摩擦系统在法向和切向上出现的不稳定振动模态是实现摩擦振动能量收集的重要因素。采用瞬态动态分析法对摩擦系统的动力学响应进行模拟，结果表明瞬态分析能够从时域上很好地模拟试验过程，较大的法向载荷导致系统产生较强的摩擦振动，从而导致压电材料变形位移增大，进而输出较高的电压；摩擦系统存在一定的临界速度，使得系统能够产生最强的摩擦振动能量，并对外输出最大电压信号；进一步地，本研究建立起摩擦与压电相互耦合的二自由度数学模型，验证了摩擦振动能量收集的可行性，并定性分析了法向载荷和运动速度对系统响应的影响。以上研究结果能为实现摩擦振动的能量收集提供理论依据。

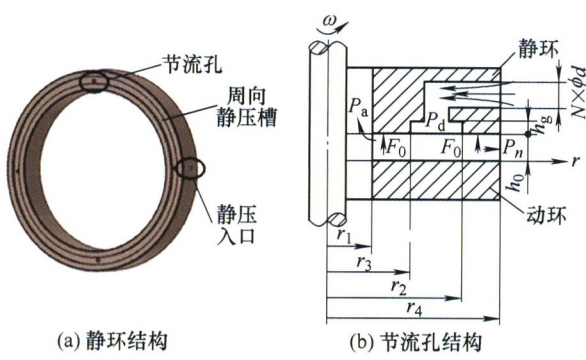
99 基于布谷鸟搜索算法和最大二阶循环平稳盲解卷积的滚动轴承故障诊断方法



摘要：针对最大二阶循环平稳盲解卷积(Maximum second order cyclostationary blind deconvolution, CYCBD)的轴承故障诊断效果取决于选取的故障特征频率的精度以及滤波器的长度的问题，提出了用布谷鸟搜索算法(Cuckoo search algorithm, CSA)优化 CYCBD，并以改进的最大谐波显著性指标(Improved maximum harmonic significance index, IHSI)为优化依据的诊断方法。该方法首先要预估故障特征频率以及滤波器长度的搜索范围，然后利用 CSA 比较不同故障特征频率以及滤波器长度下解卷积信号的 IHSI 值，并选取最大 IHSI 值对应的故障特征频率和滤波器长度作为 CYCBD 的输入参数，最后对解卷积后的信号进行平方包络来提取故障特征。仿真和实验结果表明，CSA 能够高效地寻找出精确的故障特征频率以及合适的滤波器长度，从而确保 CYCBD 的解卷积效果，而 CYCBD 与最小熵解卷积(Minimum entropy deconvolution, MED)、最大相关峭度解卷积(Maximum correlation kurtosis deconvolution, MCKD)的比较显示，CYCBD 拥有更强的故障特征提取能力。

108 动静压机械密封的结构设计及端面槽型优化研究

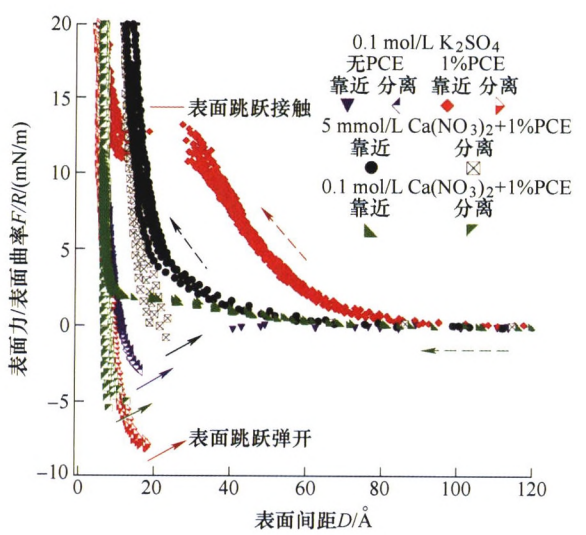
王建磊 门川皓 赵伟刚 贾 谦 崔亚辉 张 琛 袁小阳



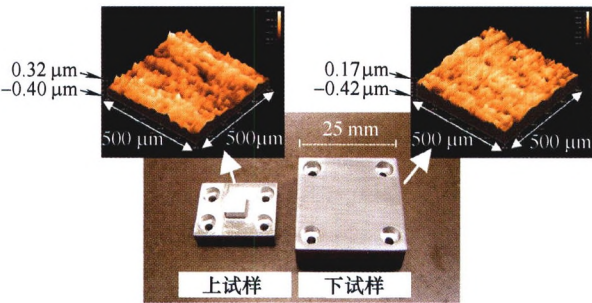
摘要：针对液体火箭发动机机械密封的二次利用问题，为避免碰磨进行了动静压机械密封的结构设计及端面槽型优化研究。采用动压和静压联合工作的原理，设计了动静压机械密封结构，并对静环节流孔及动环动压槽进行了重点设计；基于流体力学方程求解了静环的开启力及泄漏量，通过课题组已有机密封计算软件计算了动环的开启力及泄漏量等指标；针对外螺旋槽内人字槽的组合槽型，采用正交试验的方法对槽型进行了优化，选定了最优槽型方案，该槽型优化方案的开启力为 8.2 kN，泄漏量为 0.66 mL/s，在保证泄漏量的前提下可以获得更大的开启力。研究表明，采用动静压形式的机械密封在工作中可有效减少磨损，保证泄漏量较小，满足二次利用的要求。该研究成果也可为其他高速旋转机械的机械密封结构优化提供参考。

118 盐溶液条件对边界润滑添加剂在带电表面吸附行为的影响

吴 波 古 乐 曹华军 渠 达

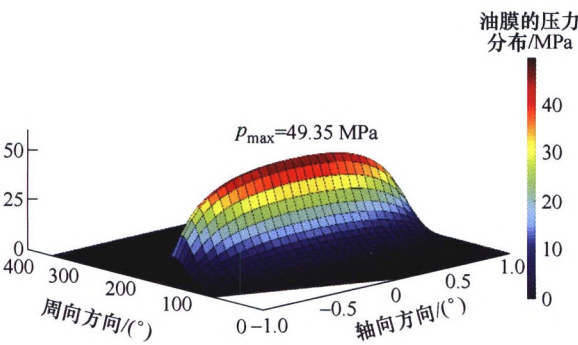


摘要：为揭示盐溶液条件对边界润滑添加剂聚醚接枝聚羧酸盐(Poly(carboxylate ether), PCE)吸附行为的影响，利用表面力仪在一种商业 PCE 的多种水溶液中直接测量带电云母表面之间的法向作用力。力—距离测量表明 PCE 从 0.1 mol/L K_2SO_4 溶液中微弱地吸附于云母表面，其边界吸附薄膜(厚度约 50 Å)在相当于三四个大气压的载荷条件下即从两表面间完全挤出。解吸附之后，PCE 能立即实现相同的再吸附。在相同离子强度的 0.1 mol/L $Ca(NO_3)_2$ 溶液中，PCE 却不吸附于云母表面。但是，在低浓度的 5 mmol/L $Ca(NO_3)_2$ 溶液中，PCE 在云母表面建立厚度约 40 Å 的牢固边界吸附层。二价 Ca^{2+} 离子能桥接两 PCE 边界吸附层，而单价的 K^+ 离子不能。二价阳离子桥接吸附机理只能在有限的离子浓度范围内发生。



摘要：针对现有结合面静摩擦因数分形模型的静摩擦因数随结合面法向接触载荷增大而增大，与试验研究结论及统计模型不一致的问题，基于尺度等级定义微凸体的大小，严格区分微凸体高度与变形，构建各尺度等级微凸体的法向接触载荷与接触面积之间关系及其发生弹性和弹塑性第一变形时所能承受的最大切向载荷即最大静摩擦力计算模型，进而建立结合面法向接触载荷与最大静摩擦力计算模型，在此基础上，依据结合面静摩擦因数定义，提出与微凸体尺度等级关联的考虑微凸体完全弹性、弹塑性和完全塑性三种变形机制的结合面静摩擦因数三维分形模型，数值仿真分析了结合面静摩擦因数与法向接触载荷和分形维数 D 等的关系，结果表明结合面静摩擦因数随着结合面法向接触载荷的增大而减小，随着分形维数的增大而增大，并试验实例验证了所建模型的正确性，解决了现有结合面静摩擦因数分形模型与统计模型和试验结果之间的一致性。

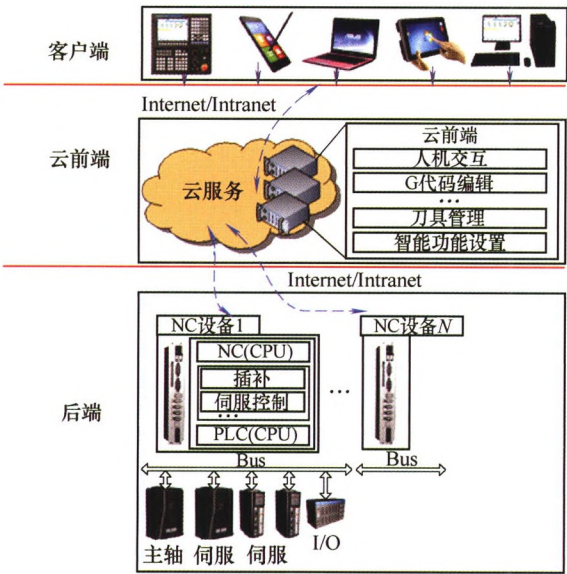
139 考虑应力偶计入区间及黏压效应的倾斜轴承非牛顿流体润滑特性研究



摘要：以滑动轴承为研究对象，考虑轴颈倾斜及润滑油黏压效应影响，建立轴承应力偶流体动力润滑模型，引入临界油膜厚度系数，探究应力偶流体对油膜厚度的敏感度，分析应力偶流体计入区域、应力偶系数、倾斜角及黏压效应对轴承润滑特性的影响。结果表明：随着应力偶系数的增加，润滑特性参数随油膜厚度的敏感度逐渐增加。较牛顿流体，考虑滑油应力偶效应时，轴承油膜压力显著增加，且随着应力偶计入区域的增加，轴承最大油膜压力逐渐增加，摩擦因数逐渐减小。在最小油膜厚度区域附近计入应力偶效应时，影响最为显著。轴颈发生倾斜时，倾斜作用将加剧应力偶效应，且随着应力偶系数的增加，倾斜对应力偶效应的影响愈加显著。黏压效应对应力偶流体轴承油膜压力有显著影响，但对于摩擦因数及端泄流量，其影响微弱。

147 机床智能控制系统体系架构及关键技术研究进展

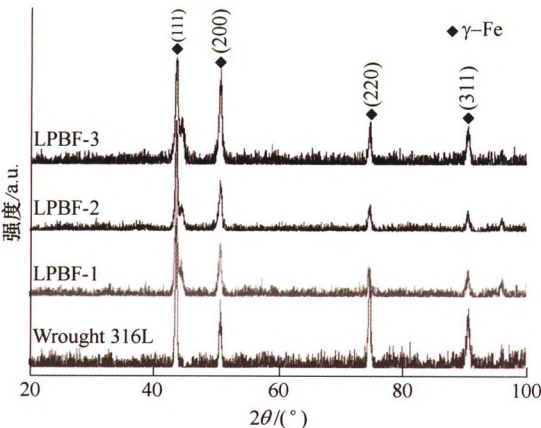
孟博洋 李茂月 刘献礼 WANG Lihui LIANG S Y 王志学



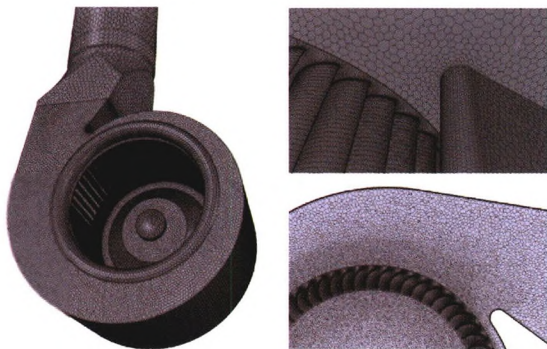
摘要：机床智能控制系统是未来智能机床领域的重要组成部分，对提高制造业核心竞争力具有重要意义。相比传统数控系统，机床智能控制系统具有更高效、稳定地加工质量，以及可代替人工经验智能判断等优点。针对现有机床智能控制系统方面的综述性讨论较少的情况，通过分析机床控制系统发展历程中四个阶段的特点，提出机床控制系统的智能化体系和架构。然后，从先进技术角度，详细阐述了人工智能技术、数字孪生技术以及云服务等关键技术，在机床智能控制系统中的应用。最后，通过分析智能机床面临的几大严峻挑战与应对之策，展望了未来机床智能化控制系统的发展趋势。

167 选区激光熔化工艺参数对燃料电池 316L 不锈钢双极板性能的影响

林开杰 董伟菴 顾冬冬 全景峰 乔竞驰 王超超

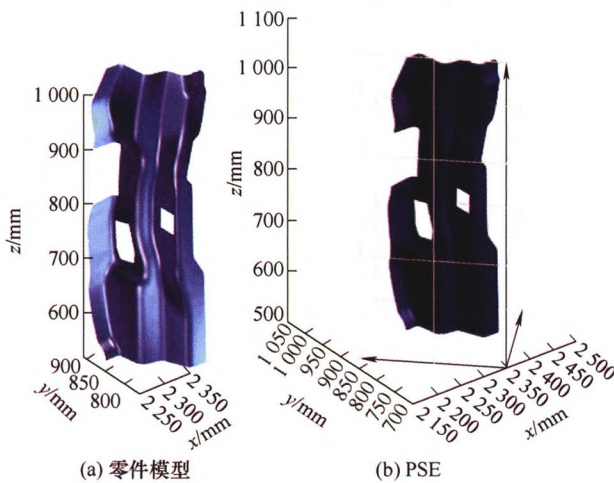


摘要：316L 不锈钢材料具有耐蚀性好、成形性好、成本低等优点，在燃料电池金属双极板领域有着良好的应用前景。基于传统等材、减材加工方法难以成形复杂结构燃料电池双极板的瓶颈，使用选区激光熔化技术可实现复杂结构 316L 不锈钢双极板的成形制造。针对燃料电池不锈钢金属双极板的应用背景，系统研究了不同激光工艺参数(激光功率、激光扫描速度)对所成形 316L 不锈钢材料微观组织及双极板所需耐蚀性和表面接触电阻的影响，并对比了传统锻造 316L 不锈钢与选区激光熔化 316L 不锈钢在显微组织和性能上的差异。结果表明，选区激光熔化成形 316L 不锈钢的致密度随着激光功率的增大而增大，随着扫描速度的增大而减少，并在激光功率为 300 W，扫描速度为 1 500~2 000 mm/s 时达到最大值。相比于具有等轴晶特征的锻造不锈钢试样，选区激光熔化成形不锈钢试样柱状晶组织有利于降低晶界对电流的阻碍作用，从而降低了表面接触电阻；同时，随着样品表面粗糙度的提高，选区激光熔化成形不锈钢试样的表面接触电阻降低。致密度高的选区激光熔化成形不锈钢试样的耐蚀性优于锻造成形不锈钢试样，且随着致密度的减小，选区激光熔化成形试样的耐蚀性逐渐降低。本研究结果表明选区激光熔化成形 316L 不锈钢材料可用于燃料电池金属双极板。



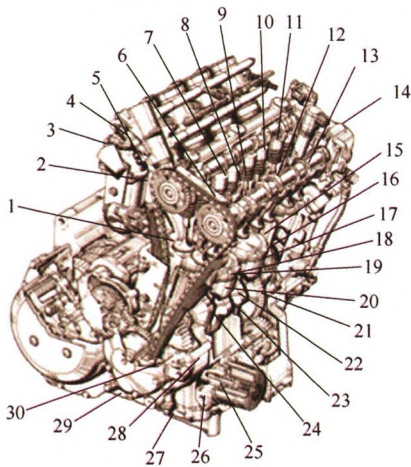
摘要：为减小多翼离心风机蜗壳小型化过程中对风机气动性能造成的损失，在蜗壳单侧切割的基础上，提出一种等比例组合式切割策略。以某烟机用多翼离心风机的螺旋形蜗壳为研究对象，对相等宽度缩减率下基于该组合式切割法所得方案、单侧切割方案、收缩型方案以及原型机展开数值模拟，并对不同方案的内流及全工况气动性能展开详细对比分析。结果表明各小型化策略对风机不同流量工况下压力和效率的影响不尽相同，其中组合式切割策略可有效削弱单侧切割深度过大对风机性能的负面影响，对应方案的气动性能在所有蜗壳小型化方案中综合最佳。与蜗壳型线曲率连续的收缩型方案相比，该组合式切割所得型线非连续方案的叶轮效率、蜗壳静压转换能力相对于原型机的降幅反而更小，具有明显性能优势。

183 基于 Bézier 参数空间包络的改进公差建模方法

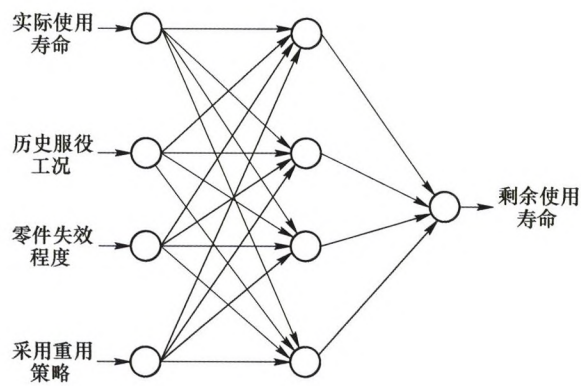


摘要：基于 Bézier 参数空间包络的公差建模方法建立了控制点变化与尺寸和形位公差之间的对应关系，但是针对最差情况下公差表示时采用最小内切超球作为控制点的变化范围，使得控制点变化的定义过于严格。因此，进一步推导了控制点变化超椭圆范围的表达式，增加了控制点变化的范围，同时保证零件变形仍 100%满足零件的公差要求，此外基于内切超球和超椭圆定义了统计公差，最后通过蒙皮壁板、铰链和车门的仿真试验分别比较了超球和超椭圆所定义控制点变化范围，结果表明改进后的公差建模方法控制点变化范围显著增加，从而对零件加工工艺的要求更宽松，间接减少了制造成本。

191 考虑变更风险的复杂产品模块划分方法

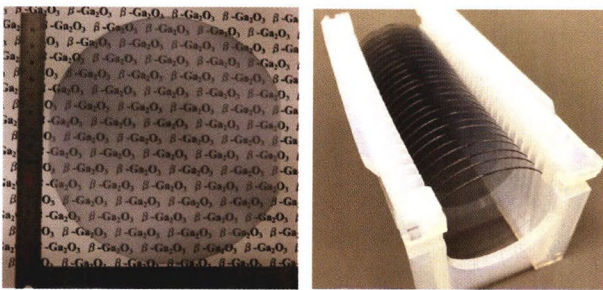


摘要：模块化方法可有效控制复杂产品的研制周期与成本，模块划分是实现模块化的基础。受顾客需求、关键技术及政策、市场等内外部动态因素的影响，持续演化是复杂产品的必然趋势。设计变更是企业实现产品演化的基本手段，为了降低演化的影响，在对复杂产品进行模块划分时，同时考虑功能、结构、变更风险三个因素。首先将复杂网络理论应用于复杂产品结构建模，以零部件为节点，零部件的关联关系为边，建立复杂产品零部件网络模型。然后基于 LinkRank 的社区发现算法求解出产品模块初始划分方案。其次再利用基于网络相似度优化的社区发现算法得到最终划分方案。最后以某型号摩托车发动机为例验证了所提方法的可行性和有效性。



摘要：废旧零部件的重用组合策略是影响废旧机械装备再制造经济性的重要因素。由于各废旧零部件重用策略的不确定性及其零件间耦合关系的复杂性，导致废旧机械装备重组策略优化变得更为复杂，并由此影响产品的多寿命周期成本。为此，提出一种基于非合作博弈的废旧机械装备零部件重组策略研究方法，将重组策略下成本与寿命均衡性的多目标优化模型转变为非合作博弈模型并形成映射关系，以不同重组策略的成本与寿命均衡性作为非合作博弈双方，通过对废旧零部件的模糊聚类分析形成博弈双方策略归属，并结合博弈效用函数构建效用矩阵，通过效用矩阵的纳什均衡分析得到最优重组策略，同时改善传统基于经验或线性加权法在解决多目标优化模型时的不足。将所提方法应用于 CA6140 废旧机床重组策略优化，通过与传统方案的比较，证明其实用性与有效性。

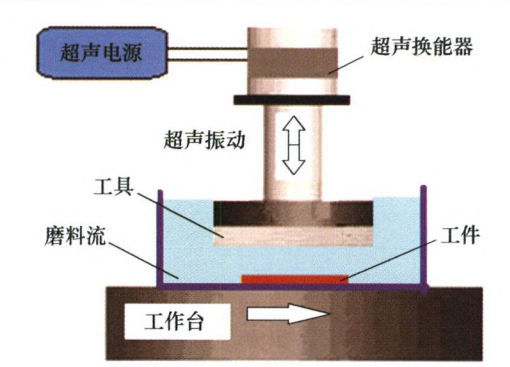
/// 制造工艺与装备 ///



摘要：氧化镓($\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$)单晶是继碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)之后，制造超高压功率器件、深紫外光电子器件、高亮度LED等高性能半导体器件的新一代半导体材料，大尺寸低缺陷氧化镓单晶的制备方法以及高表面质量氧化镓晶片的超精密加工技术是实现氧化镓半导体器件工业应用的瓶颈之一。针对易产生结构缺陷的氧化镓单晶的制备，系统阐述焰熔法、提拉法、光浮区法、导模法、布里奇曼法等氧化镓单晶制备方法的国内外研究进展，通过对比不同方法制备氧化镓单晶的晶体生长速度、晶体尺寸和内部缺陷等，分析不同制备方法的优缺点，指出大尺寸低缺陷氧化镓单晶制备方法的未来发展趋势；针对硬度高、脆性大、各向异性大、极易解理破碎的氧化镓晶片的超精密加工技术，详细介绍国内外在超精密加工氧化镓晶片的表面材料去除机理、亚表面损伤产生机理与演变规律，以及氧化镓晶片超精密磨削、研磨和抛光工艺等方面的研究进展，分析氧化镓晶片在加工过程中极易解理破碎的原因和目前采用游离磨料研磨工艺加工氧化镓晶片的局限性，提出未来实现大尺寸氧化镓晶片高效率、高表面质量加工的工艺方法。分析表明，在氧化镓单晶制备方面，导模法将是未来批量化制备大尺寸低缺陷氧化镓单晶的最佳方法，但生长过程中气氛的选择与调控、不同缺陷的产生机理与抑制方法以及p型氧化镓单晶的掺杂方法等问题亟需解决。在氧化镓晶片超精密加工方面，基于工件旋转磨削原理的金刚石砂轮超精密磨削技术将是实现大尺寸氧化镓晶片高效、高表面质量加工的有效方法，但氧化镓单晶延性域去除和解理破碎的临界磨削条件、表面质量和加工效率约束下的砂轮参数和磨削参数的选择等问题还亟待系统研究，才能为氧化镓晶片的超精密磨削加工提供理论指导。

233 超声振动辅助磨料流抛光技术研究综述

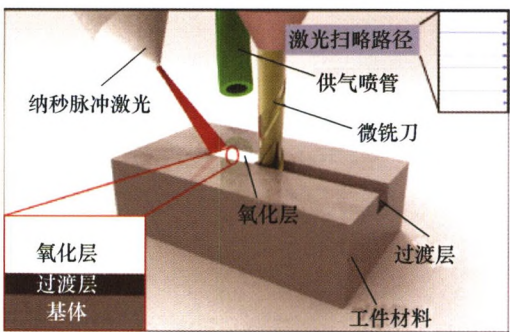
李 华 任 坤 殷 振 戴晨伟 王中旺 魏 力 韦 冬



摘要：抛光加工是实现高性能零件最终表面质量要求的重要的方法。超声振动辅助磨料流抛光是磨料流抛光与超声振动相结合的复合抛光技术，在光学玻璃、蓝宝石、单晶硅、陶瓷等硬脆性材料抛光和金属材料零件复杂表面的抛光加工中具有独特的优势，可以有效地提高表面质量和抛光效率。对近年来的技术发展进行了总结，对抛光加工基本原理研究、材料去除微观机理研究、抛光工艺方法分类及应用等方面进行了系统的论述和分析。指出了这一技术当前的研究热点和需要解决的关键问题，对今后的研究、应用和发展给出了建议和展望。

254 激光诱导可控氧化辅助微细铣削 TiAl 金属间化合物的研究

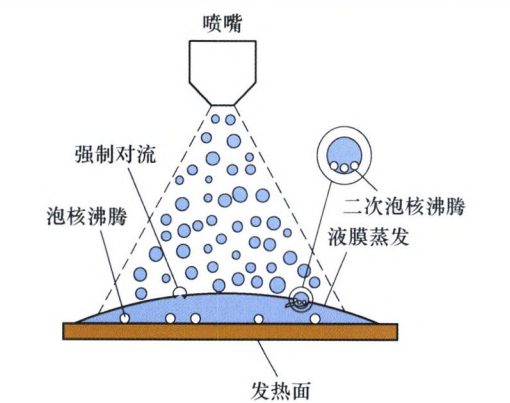
赵国龙 夏宏军 李 亮 信连甲 何 宁



摘要：TiAl 金属间化合物微细铣削过程的高比切削力和微铣刀的弱刚性是导致微结构加工效率低、表面完整性差和工艺可控性低等问题的主要原因，本研究提出了激光诱导可控氧化辅助微细铣削复合加工新方法。在激光平均功率为 4.5 W、扫描速度为 1 mm/s 以及富氧环境下，激光诱导 TiAl 金属间化合物生成了疏松多孔的氧化物，氧化物能够被微细铣刀快速去除，且去除过程中切削载荷低，刀具几乎没有磨损。主要研究了激光辐照下 TiAl 金属间化合物的氧化机理；背吃刀量和每齿进给量的变化对铣削力、加工表面质量和刀具磨损的影响规律，并与常规微细铣削工艺进行了对比研究。结果表明：采用低的激光平均功率与扫描速度时，氧化反应平稳进行，且生成疏松多孔的氧化物，氧化物主要是钛矿型 TiO₂ 与金红石型 TiO₂，过渡层表面平整，有微裂纹产生以及少量残留的氧化物。相比于常规微细铣削工艺，激光诱导可控氧化辅助微细铣削工艺下的铣削力和刀具磨损较低。此外，当背吃刀量和每齿进给量分别为 4 μm 和 3.5 μm/z 时，可获得较好的加工表面质量，表面粗糙度达到 128 nm。复合加工工艺中微细铣刀的失效形式为涂层脱落和材料黏结。与常规微细铣削工艺相比，激光诱导可控氧化辅助微细铣削工艺的刀具寿命显著提高。

264 基于 MQL 的超声椭圆振动微切削 Inconel718 的机理研究

王大中 吴淑晶 林靖朋 郭国强 王 鹏



摘要：研究不同切削条件下的超声椭圆振动(Ultrasonic elliptical vibration, UEV)对 Inconel718 微切削性能的影响规律，讨论微量润滑(Minimum quantity lubrication, MQL)和 UEV 切削对加工性能的影响机理。针对微量润滑切削时的不同喷嘴角度，提出一种新的换热模型，利用软件对 Inconel718 微切削的切削力、切削温度进行了仿真研究，并通过试验对不同喷嘴角度下的切削温度的进行了对比，探讨不同喷嘴角度对 UEV 切削条件下加工性能的影响。研究结果表明，与常规切削相比，UEV 切削可降低切削力、切削温度，超声椭圆振动微量润滑切(UEV+MQL)效果明显，喷嘴角度为 0° 条件下超声振动微切削 Inconel718 的切削温度降低效果最为明显。

CONTENTS

- 1 Overview of the Artificial Muscle Actuators**
XING Zhiguang LIN Jun ZHAO Jianwen
- 12 Multipoint Force-constrained Admittance Control for Retinal Surgical Robot**
HE Changyan YANG Yang
- 19 Active Disturbance Rejection Control Strategy of Parallel Stable Platform Based on Feedforward and Attitude Prediction**
ZHENG Huaihang WANG Junzheng LIU Dongchen WANG Shoukun
- 28 Type Synthesis and Analysis of Plate Deployable Mechanism**
GUO Luyao ZHAO Yongsheng LI Ming HAN Bo LU Sicheng CUI Qifeng XU Yundou
- 39 Displacement Analysis of Spatial Linkage Mechanisms Based on Conformal Geometric Algebra**
HUANG Xiguang LIU Congcong HUANG Xu LI Qiang LI Duanling
- 51 The Influence of Taper Inlet Height on the Performance of Gas Thrust Foil Bearing: Simulation and Experiment**
XU Fangcheng HOU Liukai WU Bin HE Bo
- 61 Dynamic Simulation and Experimental Identification for Fatigue Pitting Helical Gear Fault**
CHEN Yong LI Jinkai ZANG Libin LIU Yiqi BI Wangyang YANG Xiaopeng
- 71 Dynamic Similarity Design Method for Vibration Response of Impact Test of Straight Blades**
HE Fengxia LUO Zhong LI Lei LI Yuqi
- 78 Rolling Bearing Fault Feature Extraction Method Based on Adaptive Enhanced Difference Product Morphological Filter**
MIAO Baoquan CHEN Changzheng LUO Yuanqing ZHAO Siyu
- 89 Experimental and Numerical Study on the Response Characteristics of Piezoelectric Energy Harvester via Friction-induced Vibration**
WANG Dongwei LIU Mingxing WU Xiao QIAN Weiji

99 Research on Fault Diagnosis Method of Rolling Bearings Based on Cuckoo Search Algorithm and Maximum Second Order Cyclostationary Blind Deconvolution
HUANG Baoyu ZAHNG Yongxiang ZHAO Lei

108 Research on Structural Design and End Face Slot of Optimization of Hydrodynamic and Hydrostatic Mechanical Seal
WANG Jianlei MEN Chuanhao ZHAO Weigang JIA Qian CUI Yahui ZHANG Chen YUAN Xiaoyang

118 Effect of Salt Solution Condition on Adsorption Behaviors of Boundary Lubrication Additive on Charged Surfaces
WU Bo GU Le CAO Huajun QU Da

127 Three-dimensional Fractal Model with Scale Correlation for Static Friction Factor of Joint Interfaces
ZHANG Xueliang ZHANG Wei WEN Shuhua YAO Shisheng

139 Analysis of Misaligned Journal Bearing Lubrication Performance with Consideration of Couple Stress Lubricant Area and Viscosity-pressure Effect
ZHU Junchao QIAN Haiyu ZHENG Liangyan ZHU Hanhua

147 Research Progress on the Architecture and Key Technologies of Machine Tool Intelligent Control System
MENG Boyang LI Maoyue LIU Xianli WANG Lihui LIANG S Y WANG Zhixue

167 Effect of Laser Powder Bed Fusion Process Parameters on Performance of 316L Stainless Steel Bipolar Plates
LIN Kaijie DONG Weisong GU Dongdong QUAN Jingfeng QIAO Jingchi WANG Chaochao

175 Numerical Study on Downsizing Design of Multi-blade Centrifugal Fan Volute
JIANG Boyan XIAO Qianhao YANG Xiaopei ZHU Yongding WANG Jun

183 An Improved Tolerance Modeling Method Based on Bézier Parametric Space Envelope
LUO Chen NIE Jiaqi ZHOU Yijun

191 Module Partition Method for Complex Products Considering the Change Risk
LI Yupeng XIE Weixing WANG Xiaolin REN Haibing

203 Research on Reassembly Strategy of Used Mechanical Equipment Components Based on Non-cooperative Game
CHEN Yanxiang JIANG Zhigang ZHU Shuo ZHANG Hua

213 Recent Advance in Preparation and Ultra-precision Machining of New Generation Semiconductor Material of β -Ga₂O₃ Single Crystals
GAO Shang LI Honggang KANG Renke HE Yiwei ZHU Xianglong

233 Review of Ultrasonic Vibration-assisted Abrasive Flow Polishing Technology
LI Hua REN Kun YIN Zhen DAI Chenwei WANG Zhongwang WEI Li WEI Dong

254 Investigation on Laser-induced Controllable Oxidation Assisted Micro Milling of Titanium Aluminum Intermetallic Alloy
ZHAO Guolong XIA Hongjun LI Liang XIN Lianjia HE Ning

264 Research on Ultrasonic Elliptical Vibration Micro-cutting Inconel718 Based on Minimum Quantity Lubrication
WANG Dazhong WU Shujing LIN Jingpeng GUO Guoqiang WANG Peng

《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) 潘际銮 (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 (教授) 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 (教授) 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 (教授) 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)

