QK1807690

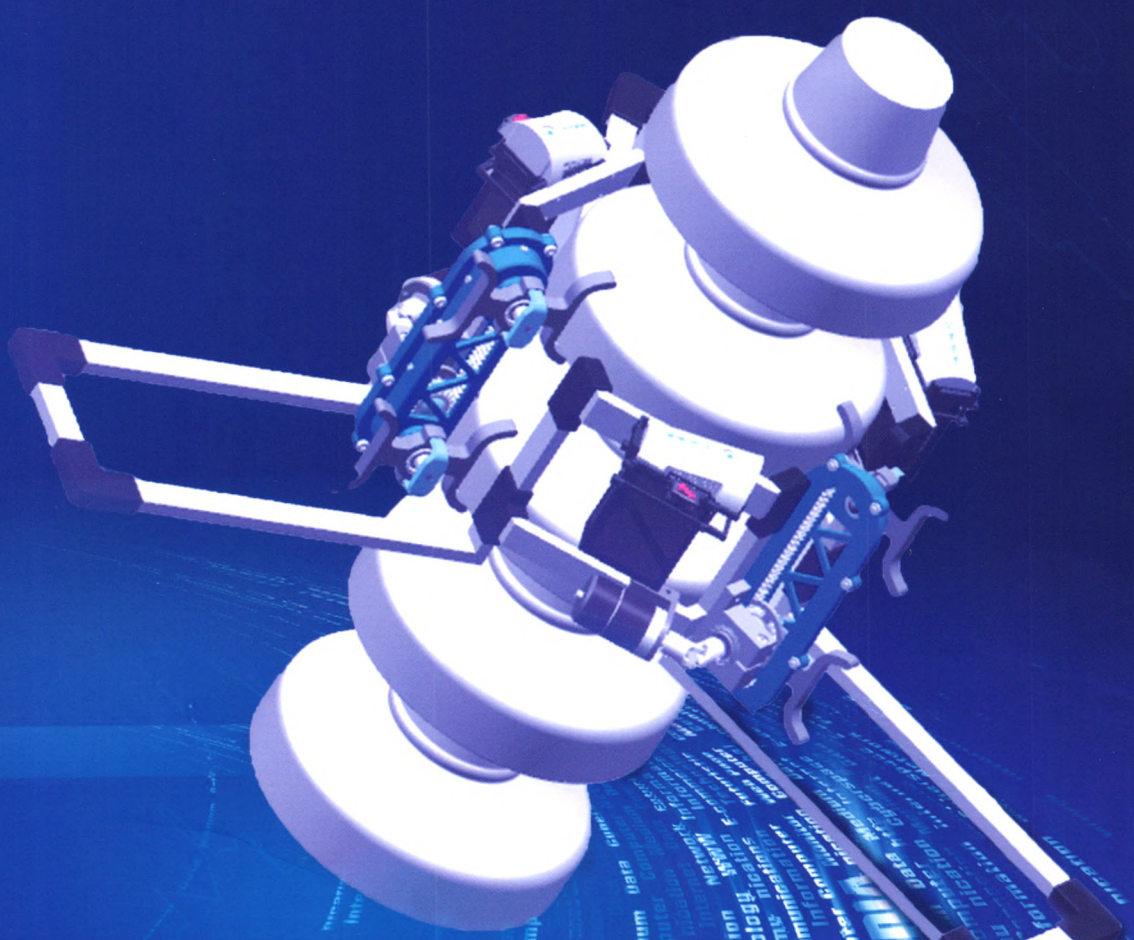
ISSN 0577-6686
CODEN CHHKA2

机械工程学报®

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

面向作业任务的约束变胞机构设计方法

李树军 王洪光 李小彭 杨贺绪 戴建生



中国机械工程学会 主办

2018年54卷3期 半月刊

万方数据

机械工程学报
JIXIE GONGCHENG XUEBAO

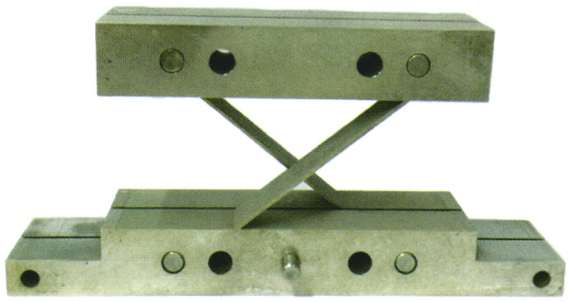
目次

2018 年　第 54 卷　第 3 期　2 月 5 日出版

机构学及机器人

1　垂直载荷对交叉簧片柔性铰链准恒定转动刚度的影响分析

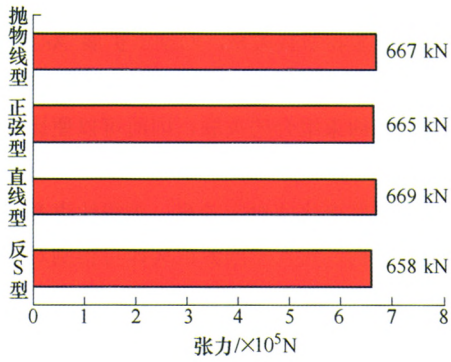
李永振　毕树生　赵宏哲　杨其资　张述卿



摘要：交叉簧片柔性铰链的转动刚度特性对设计人员是需要重点考虑的，但一些相关的特性尚未被揭晓。通过对应用于静平衡仪的交叉簧片柔性铰链转角公式推导过程中保留垂直载荷的二阶项，建立铰链的转角-载荷模型。分析包含垂直力载荷高阶项的转动刚度和垂直力刚度，更好地描述了垂直载荷、几何参数对铰链刚度的影响。研究发现，只有垂直载荷及铰链转动角度均相对较小时，铰链才具有近似常值的转动刚度，并且随着垂直载荷的增加，铰链转动刚度趋于不断增大。当旋转角度较大时，垂直载荷作为铰链转动的驱动力，将会使铰链转动刚度的非线性特征体现的更明显。通过有限元仿真分析和试验验证了该类铰链的刚度特性，从而为交叉簧片柔性铰链的应用提供了依据。

8　重型工作面输送机变频驱动与传动

李　阳　何柏岩　袁鹏飞　聂　锐　李国平

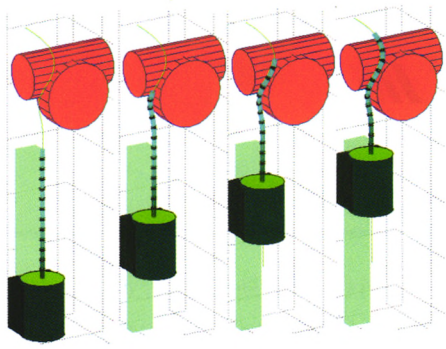


摘要：为解决工作面输送机启动困难、多机驱动功率不均衡等问题，可采用变频驱动这一软启动方式来改善其启动性能，但变频控制策略与整机动力学的适配协同是有效发挥变频驱动优势的重要课题。根据变频电动机的机械特性曲线建立电动机模型，将输送机的链传动系统离散成多个 Kelvin-Vogit 模型。利用 Matlab/Simulink 软件平台，建立了输送机整机系统模型，分析了变频驱动的启动效果及对链传动系统动力学行为的影响，给出了软启动性能评价指标。以 SGZ1000/2×1000 型输送机为例，对满载启动工况进行了数值仿真。分析不同控制参数对输送机启动过程的影响，得到了最优控制策略。与同等规格/工况下的液力偶合器驱动对比表明：合理的变频驱动控制策略可以明显改善输送机软启动性能，启动平稳且减小了系统机械冲击，并可实现多机驱动功率平衡，有效解决了重载难启动等问题。

万方数据

18 超冗余度机械臂跟随末端轨迹运动算法及其性能分析

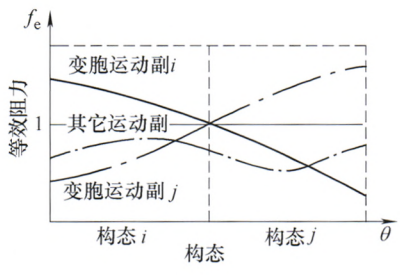
王俊刚　汤　磊　谷国迎　朱向阳



摘要：超冗余度机械臂具有大长径比、多自由度、高灵活性等特点。为提升其穿越受限空间的效率，提出一种适用于该机械臂三维空间深腔探测的跟随末端轨迹运动算法。在底座进给运动配合下，机械臂的连杆和关节沿规划路径移动，并使得机械臂与路径曲线偏差尽可能小。为提高算法效率，提出一种迭代步长顺序查找法来实现机械臂的关键点与离散路径曲线快速匹配；为减小路径跟随误差，提出一种线性插值优化方法减小因路径离散处理引起的误差。通过 12 个关节的超冗余度机械臂的仿真试验，从位置精度、运动平顺性、算法效率三方面对算法性能进行评价。结果表明，在保证路径跟随误差不超过 5 μm 的情况下，机械臂的运动平顺，单周期计算耗时为 1 ms 左右。算法适用于空间三维运动，且算法效率满足实时控制要求。

26 面向作业任务的约束变胞机构设计方法

李树军　王洪光　李小彭　杨贺绪　戴建生

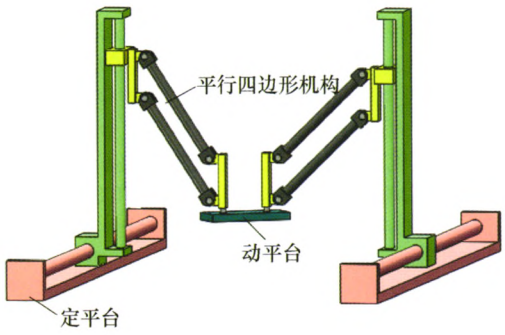


摘要：如何根据作业任务需求设计约束变胞机构的构型，特别是包含变胞运动副的类型与约束方式的变胞机构，是变胞机构在实际应用中有待解决的关键问题之一。将作业任务分解为子任务，获取对应的变胞构态及其输出运动形式，进而获得对应的变胞运动副的类型及约束周期，构成了基于任务的变胞机构的输出运动与约束组合循环图。根据变胞运动副的类型和邻接关系，归纳出扩展 Assur 杆组可以提供的输出运动形式，建立了扩展 Assur 杆组与变胞机构的运动形式与约束组合的关联，因而可以便捷设计出变胞源机构。通过研究变胞机构的组合变胞循环图与变胞机构的等效阻力梯度变化的对应关系，求得约束变胞运动副的约束形式和结构，代入变胞源机构即可得到对应带有变胞运动副约束形式的全部变胞机构；同时进一步考虑工艺条件及运动的可靠性等因素，从中选取适合作业要求的变胞机构。以设计实例演示和验证了提出的设计理论和设计方法的可行性和实用性。

万方数据

36 四自由度 2PPPaR 并联机构运动学及性能分析

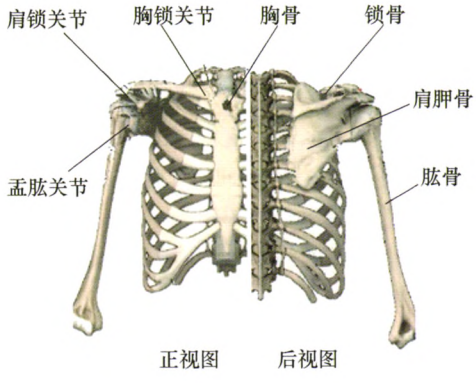
吴存存　杨桂林　陈庆盈　张　驰　刘树林



摘要：提出一种可以实现三个移动和一个转动(3T1R)的新型四自由度并联机构—2PPPaR 并联机构，它通过两个转动副将两条相同支链与动平台相连，每条支链均采用平行四边形机构，通过安装在水平和垂直方向的两台直线电机驱动。该并联机构具有结构简单、构型对称、工作空间大、速度快且定位精度高的特点，可广泛用于高速高精度的分拣、包装、码垛操作中，具有较好的工业应用前景。基于螺旋理论验证了该机构自由度的数目和性质，分析了该机构的运动学特性，得到了其位置的封闭解，并通过算例进行了验证。基于机构的 Jacobian 矩阵分析了该机构的奇异性，给出了几种典型的奇异构型，利用解析法和数值法确定了机构的可达位置工作空间，分析姿态角和各设计参数对可达位置工作空间体积的影响，研究了机构可达位置工作空间的形状及满足的几何约束条件，为后续机构的优化设计和轨迹规划提供理论依据。

46 人机相容型肩关节康复外骨骼机构的运动学与灵活性分析

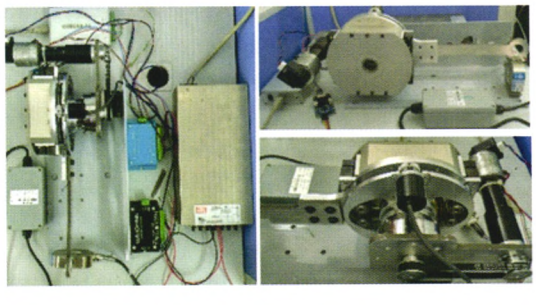
李剑锋　刘钧辉　张雷雨　陶春静　季　润　赵朋波



摘要：针对人体肩关节运动障碍的康复训练需求，提出一种 3R-PU 型串联肩关节康复外骨骼机构，可以实现肩关节的内收/外展、前屈/后伸和内旋/外旋运动。通过在人机界面引入被动关节 P 和 U，使外骨骼机构与上臂形成的人机闭链转化为 3-DOF 运动学恰约束系统，实现外骨骼机构与人体上臂的运动学相容。基于人体肩部各关节间的运动耦合分析，得到盂肱关节转心(Center of glenohumeral, CGH)在上臂抬升过程中相对于胸骨的位置变化关系。通过建立人机闭链的运动学模型，并进行位置逆解析，得到外骨骼机构各运动副的角位移变化曲线；同时，推导了人机闭链的速度雅可比矩阵，进行了运动灵活性分析。结果表明：被动关节 P 和 U 的运动幅度均较大，引入被动关节有益于解除人机界面处的运动约束，进而降低人机之间的约束强度；当上臂在 0°、45°、90°和 135°抬升面内运动时，外骨骼机构具有较好的运动灵活性。研究结果为外骨骼机构的运动规划与控制提供了分析依据。

55 主-被动复合变刚度柔性关节设计与分析

史延雷　张小俊　张明路



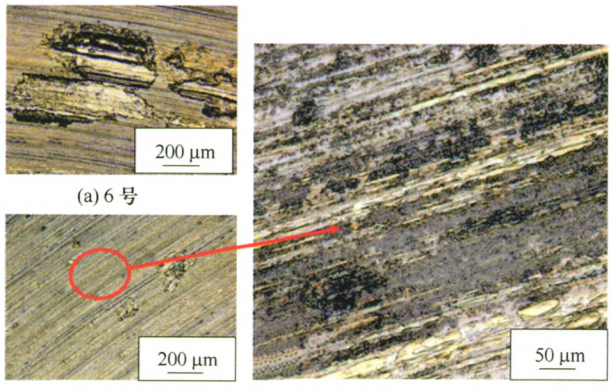
摘要：为解决传统刚性机器人在特定领域应用受限问题，为其设计一款同时具有主、被动变刚度特性的复合式柔性关节。通过调查研究国内外变刚度柔性关节结构，对变刚度柔性关节按结构原理分为杠杆机构、凸轮机构两类，并基于凸轮机构原理，通过紧凑化设计实现了主-被动变刚度在同一关节的整合。建立该柔性关节数学模型，并对凸轮槽曲线进行了优化设计，得到了关节等效刚度随柔性变形量逐渐增大的凸轮槽曲线，在此基础上对柔性关节进行了刚度特性分析。对关节样机进行了静态刚度测量及动态抛掷试验，结果表明该变刚度柔性关节能够实现主、被动刚度调节功能，且在结构设计上适应现有机器人机构应用。

万方数据

摩擦学

63 选择性激光熔化零件微观结构及摩擦学性能研究

陈旭斌　葛　翔　祝　毅　杨华勇



(a) 6 号

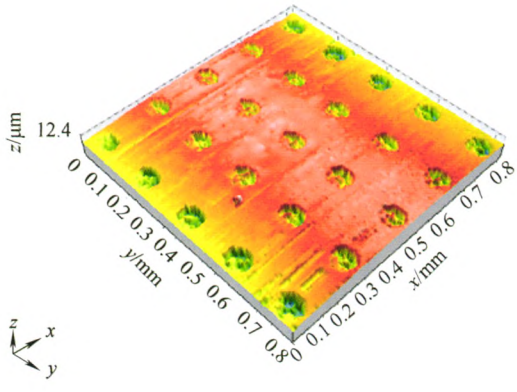
(b) 8 号

(c) 8 号局部放大

摘要：选择性激光熔化(Selective laser melting，SLM)快速成型是一种金属增材制造技术，316L 不锈钢和 Ti6Al4V(TC4)是 SLM 技术中使用最为广泛的材料。SLM 零件的摩擦学性能对其在工程上的应用至关重要，但是相关研究较少而且未联系其显微结构对磨损机理进一步研究(尤其是润滑条件下)。使用盘-环试验机在油润滑条件下，研究 SLM 316L 和 SLM TC4(经热处理)试件与软材料黄铜和硬材料 38CrMoAl 配对时的摩擦学性能，并与传统铸造方法制造(Traditional process，TP)的试件进行比较。结果表明，SLM 试件存在熔池、孔隙和晶粒细化等现象，经热处理的 SLM 试件熔池消失、硬度变大。当与黄铜配对时，SLM 试件与 TP 试件相比具有更低的摩擦因数和磨损率；当与 38CrMoAl 配对时，经热处理的 SLM TC4 比 TP TC4 具有更低的摩擦因数和磨损率。滑动摩擦初期，磨粒磨损占主导，逐渐的黏着磨损发生并占主导。SLM 试件中晶粒细化等结构影响其摩擦学性能，同时试件的塑性变形程度及氧化膜对其裂纹的形成和材料的剥落影响较大。

73 基于双盘试验的齿面时变摩擦特性研究

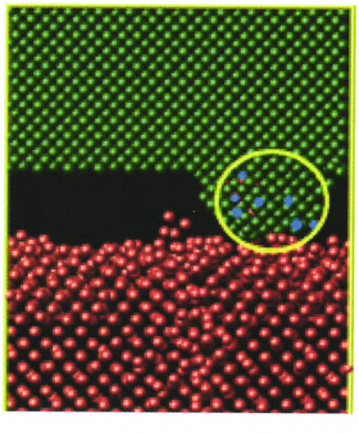
李　直　陈　剑　沈锦龙　刘　焜



摘要：齿轮啮合过程中齿面时变摩擦特性对齿轮性能有重要的影响，为了研究不同形貌齿面的时变摩擦特性，利用双盘摩擦试验探讨了在线接触状态下表面形貌对摩擦因数的影响，并结合 ISO 25178 三维表面形貌表征参数进行了分析，然后利用试验结果研究了具有不同齿面特征的齿轮在啮合过程中摩擦因数的变化情况。研究表明，载荷、卷吸速度和滑滚比对接触面间摩擦特性的影响有着不同规律，表面形貌结构对接触面润滑拖动曲线的非线性上升区有一定影响；由于表面形貌的影响，双盘试验数据模拟的齿面摩擦特性与 EHL 数值模型计算结果有一定差异，并且在齿轮不同啮合区域表面形貌对于齿面摩擦因数曲线的影响程度不同，研究结果将为通过表面形貌设计改善齿面摩擦性能提供理论基础。

82 微动界面连续干摩擦行为的分子动力学模拟

潘帅航　尹　念　张执南

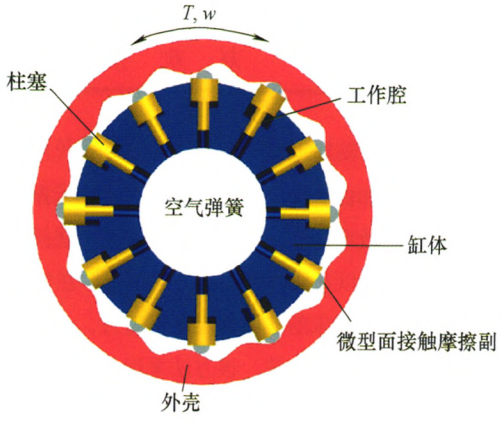


摘要：为探究微动界面连续干摩擦过程中的分子运动规律，以晶体硅-金刚石耦合微动摩擦副为研究对象，建立了单凸体固-固接触模型，并以摩擦力响应和摩擦力垂直方向(z 向)力学响应为表征量进行了分子动力学模拟分析。结果表明，在多次摩擦接触间隙，微动界面之间存在连续、波动的摩擦力学响应；连续摩擦接触过程中，受黏滑现象、单凸体变形回复以及界面上被磨损原子重新分布释放应力等过程影响，摩擦间隙仍会产生一定的 z 向力学响应，该力学响应的大小甚至会超过之后摩擦接触状态的力学响应，从而影响到固-固耦合微动界面的摩擦力学特性。

万方数据

88 基于海水介质的微型面接触摩擦副应力及摩擦学研究

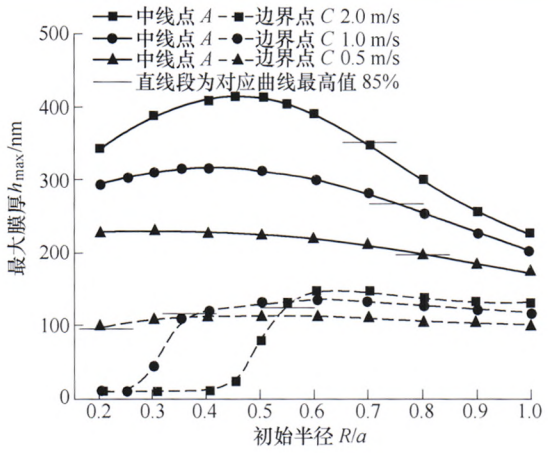
周　杰　吴进军　于革刚　杨友胜　段海涛　易　蒙



摘要：为了研究微型面接触摩擦副在海水环境中的动力学和摩擦学性能，根据柱塞运动过程无刚性冲击和柔性冲击的准则，选取了 B 样条曲线、五次多项式曲线和正弦曲线作为研究对象，计算了微型面接触摩擦副接触应力以及摩擦应力；以动力学计算的结果对摩擦试验进行加载，筛选摩擦副材料。结果表明三种曲线组成的摩擦副接触应力最大值约为 160 MPa，摩擦应力最大值均约为 16 MPa， B 样条曲线和正弦曲线综合力学性能优于五次多项式曲线。通过销盘摩擦试验考察了在初始接触应力约为 160 MPa，滑动速度为 0.5 m/s 的工况下，纯 PEEK、含有 30%玻璃纤维的 PEEK 和分别含有 10%石墨/碳纤维/PTFE 的 PEEK 与 17-4PH 组成摩擦副的摩擦学性能。试验结果表明分别含有 10%石墨/碳纤维/PTFE 的 PEEK 与 17-4PH 摩擦副的摩擦因数和磨损量均最小，磨损机理为轻微的粘着磨损，可作为微型面接触摩擦副滚动体材料。

95 弹流接触单液滴润滑特性分析

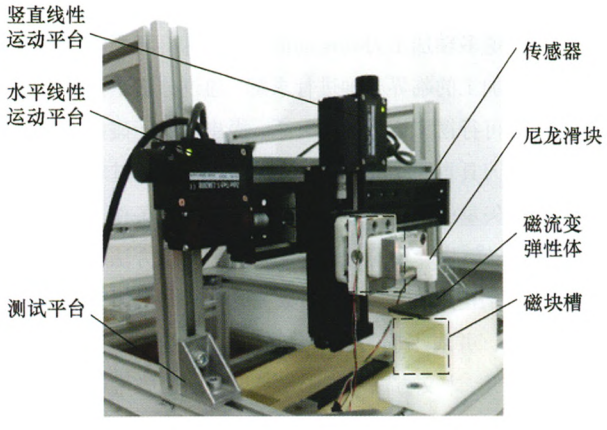
李书义　郭　峰　栗心明



摘要：在油气润滑系统中，润滑油以分散的微油滴来为摩擦副供油建立油膜。不同的固-液界面形成不同的微液滴铺展半径。基于此建立了简化的单个微油滴供油弹流润滑模型，模拟了定体积微油滴润滑成膜过程。结果表明：一定体积的微油滴供油时，其润滑效果与其初始铺展半径有关，存在一定范围铺展半径使接触区具有良好成膜能力；最佳铺展半径范围受卷吸速度和润滑油黏度影响。

101 磁流变弹性体的磁致摩擦性能研究

李　锐　任德均　吴　暄　刘　琳　王晓杰



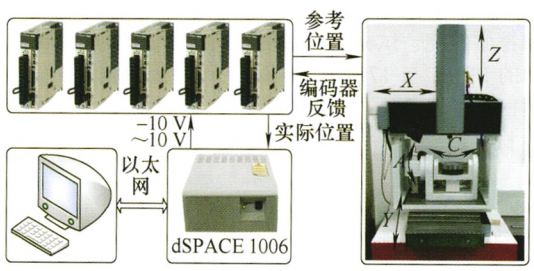
摘要：为探究磁流变弹性体的磁致摩擦性能，通过试验制备了不同质量分数的各向同性和各向异性的磁流变弹性体，搭建了摩擦试验台架并进行摩擦试验，试验结果表明：各向同性的磁流变弹性体在磁场作用下，摩擦因数随磁场增加而降低，并随着羰基铁粉质量分数增加呈非线性变化，当质量分数大约在 1:1.5 时，摩擦因数变化最大，减小了约 25%，但对于各向异性的磁流变弹性体，磁场的施加对摩擦因数的影响具有不确定性，试验还发现这种磁流变弹性体的摩擦因数在轻载条件下随着负载的增大而减小。随后从材料表面的粗糙度、弹性模量以及正压力角度对试验现象进行解析，构建磁流变弹性体摩擦因数与弹性模量关系模型，并选取质量分数为 1:3 的样本试验进行验证，当磁场强度约为 500 mT 时，磁流变弹性体表面粗糙度减小约 20.7%，磁场强度约为 250 mT 时，弹性模量增大约 22%，与理论预测相符。

万方数据

数字化设计与制造

108 五轴线性刀路的转接光顺及轨迹生成算法

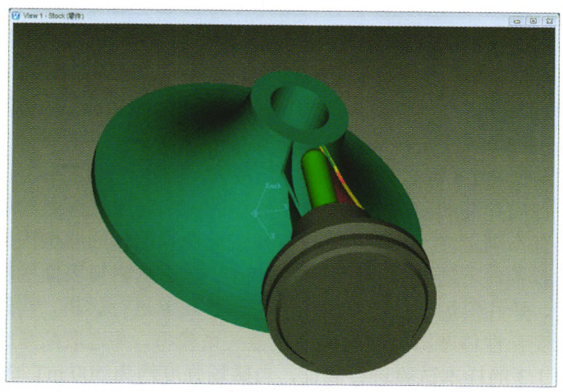
赵 欢 张永红 丁 汉



摘要：线性刀路是五轴加工中广泛采用的刀具路径形式。由于线性刀路的切向和曲率均不连续，容易引起机床振动，降低加工质量和加工效率。已有的方法仍然存在一些问题，同步参数化、误差控制以及实时性无法同时满足，在规划进给速度时没有考虑五轴机床的非线性运动学特性。为此，本文提出了一种新的路径光顺方法。该方法采用 2 条 3 次 Bézier 曲线对线性刀路进行转接光顺，提高几何连续性：一条 Bézier 曲线对刀尖点位置进行光顺；为了保证刀轴矢量单位化，用 2 个欧拉角表示刀轴矢量，从球面坐标系映射到平面笛卡尔坐标系，用另一条 Bézier 曲线对其光顺。接着，给出了基于转接光顺的轨迹生成算法。该算法考虑非线性运动学特性，结合前瞻技术和 7 段式 S 型速度规划方法，实时规划出满足伺服约束的平滑进给速度。仿真与试验结果表明：所提出的刀路光顺与轨迹生成算法能够规划出加速度连续的进给速度曲线，提高进给速度，生成的轨迹满足驱动约束，适用于实时环境。

117 复杂曲面通道多轴加工的刀具选择方法

吴宝海 梁满仓 张 莹 罗 明

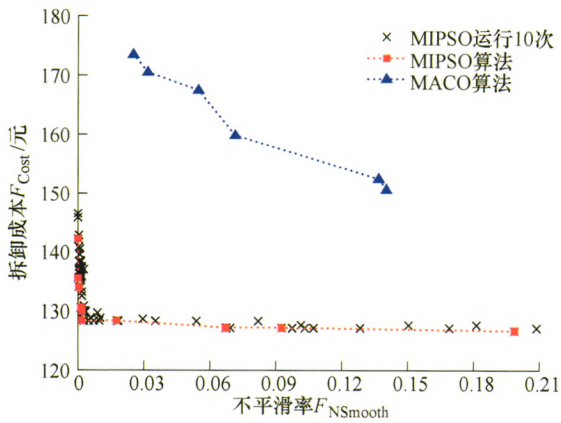


摘要：针对复杂曲面通道零件多轴加工的刀具优化选择问题，提出一种基于点可行空间分析的刀具选择方法。分析了复杂曲面通道多轴加工刀具运动的几何约束，利用临界约束条件对通道加工的临界刀轴进行求解。通过分析单点可达区域与球头刀可行摆刀域之间的关系，提出一种无碰撞干涉条件下的最大刀具直径选择方法；在此基础上，通过对可行摆刀域内刀轴矢量的优化，获得了刀具直径最大条件下的最短刀具长度。以整体叶轮的五轴加工为例，对该方法进行了分析与验证，给出了叶片曲面上最大刀具直径与最短刀具长度的变化情况，并对不同刀具直径的加工效果进行了对比分析。结果表明，本文方法能获得复杂曲面通道类零件多轴加工的最大刀具直径、最小刀具长度，可显著提高该类零件的加工效率及加工稳定性。

万方数据

125 多目标不完全拆卸线平衡问题的建模与优化

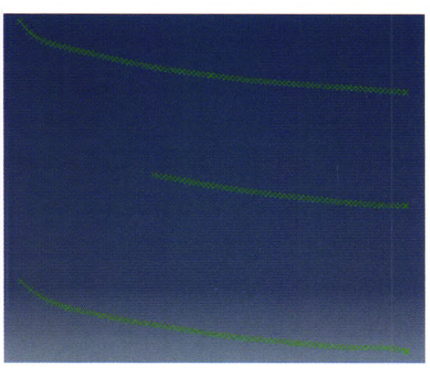
李六柯　张则强　朱立夏　邹宾森



摘要：针对实际生产中在满足约束条件下仅考虑拆卸需求零件和危害零件的特点，以工作站数目、空闲时间均衡指标和拆卸成本为优化目标，构建了不完全拆卸线平衡问题多目标模型。基于解的离散性和优化目标的多重性，提出一种 Pareto 解集思想的变邻域-粒子群融合算法。该算法通过建立拆卸任务和粒子群迭代搜索的对应关系，将变邻域搜索作为局部搜索策略，同时引入 Pareto 解集思想、拥挤距离机制处理多目标问题，以保证求解结果的多样性；通过 Hyper-volume 指标解决了多目标优化难以评价算法收敛性能及 Pareto 解集优劣等问题。采用所提算法求解不同规模完全拆卸线平衡问题测试算例，其中不同搜索深度的对比试验表明了变动搜索深度能很好地兼顾求解质量和求解效率，不同算法的对比试验表明了所提算法的优越性。最后，将所提模型与求解方法应用至某打印机不完全拆卸线的设计中。

137 胎面花纹边界特征提取及重构方法研究

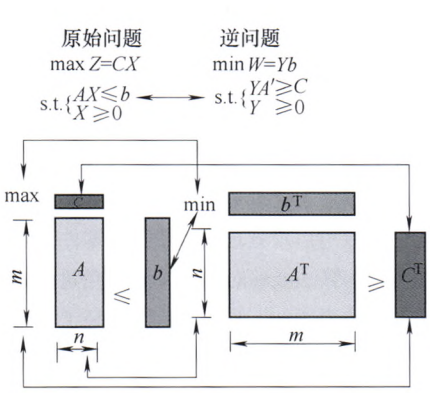
董玉德　张荣团　宋忠辉　房玉强　白苏诚　张方亮



摘要：为解决轮胎硫化工序中制造成型花纹与设计花纹存在偏差的问题，提出一种从胎面扫描数据中提取花纹边界特征并进行加工特征重构的新方法。该方法依据花纹节距排布和挤压压延成型工艺确定空间分割方案，利用轮廓设计理论和主成分统计分析方法获取胎顶轮廓曲线，从而实现三维点云向二维灰度图像(带有深度值)的转化，根据花纹的增长规律并借鉴区域增长法的思想对花纹边界特征进行识别和提取。结合三次样条插值法将花纹边界离散化处理为一簇等间距坐标点的形式，最终根据最佳一致逼近的定义实现自适应相切连续圆弧直线的花纹曲线逼近。实验结果表明，该方法可在 90 s 左右的时间内完成各种半钢子午线轮胎花纹的重构，特征提取误差不大于 0.15 mm，重构误差绝对值均值不超过 0.25 mm，最大值不超过 0.4 mm。该方法不仅能快速有效提取胎面花纹边界特征并重构，并且解决了传统逆向工程技术在花纹重构中失真性的问题，为花纹开发效率的提高和综合性能的改善提供了指导方向。

148 基于遗传变邻域混合算法的带交货期的单机车间逆调度方法

牟健慧　潘全科　牟建彩　徐汝峰　于珊珊

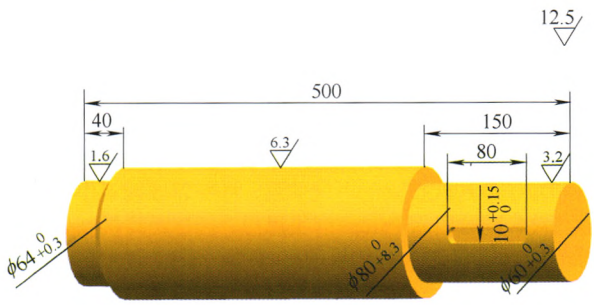


摘要：针对带交货期的单机逆调度问题，建立以最小化系统调整为目标函数的单机逆调度数学优化模型；利用互补性能，采用串行、并行和嵌入等结构，将遗传算法与变邻域搜索算法相结合，设计出遗传-变邻域搜索算法、遗传-变邻域搜索交替算法和遗传-变邻域搜索协同算法 3 种混合算法。为产生逆调度激发机制，采用非最优调度法，将随机初始化与局部初始化进行结合，创造逆调度环境；此外，为提高算法的局部搜索能力，基于交叉变异操作等思想来构建四种搜索邻域，通过邻域结构的切换，加强局部搜索能力；最后，将提出的混合算法用于求解不同规模的问题实例，与其他算法的求解结果进行比较，证明提出的混合算法是可行的和有效的。

万方数据

160 基于加工意图的机加工艺知识重用方法研究

常智勇　陶礼尊　李佳佳　席增飞

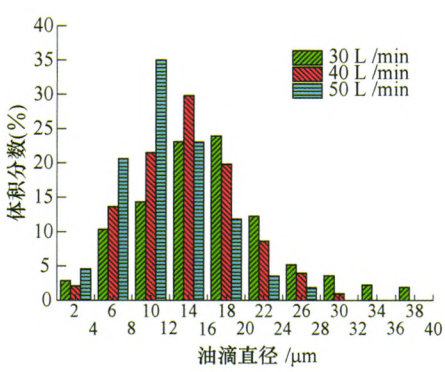


摘要：为了解决目前工艺知识重用方法存在的问题，强化工艺知识重用时工艺员的主观能动性，满足工艺员对工艺知识的个性化、多元化需求，以 MBD 工序模型几何演变过程中蕴含的工艺知识为研究对象，提出基于加工意图的工艺知识重用方法。给出了加工意图的建模方法，加工意图的几何演变、工艺语义信息的捕捉方法以及加工意图的降维处理方法。提出多属性融合的加工意图与 MBD 工艺知识元的相似性加权评价方法，并进行了实例验证。

制造工艺与装备

169 MQL 条件下的油滴覆盖率及尺寸分布研究

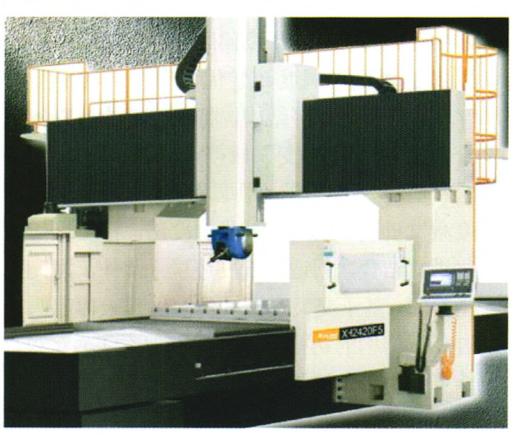
张　松　张成良　石文浩　吕　盈　陈　杰



摘要：微量润滑(Minimum quantity lubrication, MQL)切削过程中，刀具-切屑界面和刀具-工件界面的油滴覆盖率、油滴大小及其尺寸分布是决定切削区油膜均匀性和覆盖面积大小的重要因素，进而直接影响微量切削油的润滑性能。针对不同喷射距离和气体流量下的油滴覆盖率、油滴大小及其尺寸分布进行研究。借助于图像处理技术，获得不同喷射距离和气体流量下的油滴位图，分析油滴形状以及喷射距离对油滴覆盖率的影响规律；然后，利用油滴体积计算模型，阐释油滴尺寸分布与气体流量之间的内在关系。研究表明：适当缩短喷射距离和增大气体流量可以提高油滴覆盖率和减少油滴尺寸，进而充分发挥 MQL 技术的润滑性能。

178 非模态回转轴旋转角的优化方法

唐清春　尹韶辉　王永强　张　健

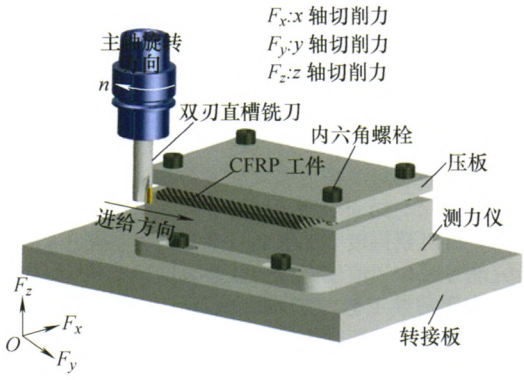


摘要：针对使用非模态回转轴的双摆头五轴联动机床的转角在使用过程中受到局限的问题，提出一种基于后置处理的旋转角度优化算法。根据旋转角的转动范围确定初始修正条件，在保证刀具接触点坐标不变的情况下，采用分区域限制对修正区的旋转坐标值进行优化。通过运动学模型的建立，基于该类机床的基本后置处理算法，结合 JAVA 语言，开发出具有角度优化的专用后置处理器。某叶轮零件的仿真和实际加工结果表明，本算法能够对加工中旋转角进行修正，避免了由于结构原因造成的加工局限，从而提高了机床的使用范围，同时此法也为其他同类机床解决旋转角受限问题提供了一定的参考。

万方数据

186 CFRP 复合材料铣削力、温度及表层损伤分析

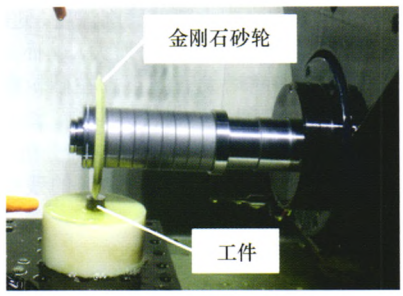
王福吉　殷俊伟　贾振元　马建伟　徐震宇　王　东



摘要：碳纤维增强树脂基复合材料(Carbon fiber reinforced polymer, CFRP)以其轻质、高强等优点，在航空航天高端装备上展现出巨大优势。然而，CFRP 中各组成相所需的切削能量及热导率具有差异性，在切断高强纤维的同时极易造成低强的纤维/树脂界面发生开裂，而热量积聚所引起的高温又会使树脂软化加剧裂纹扩展，严重影响装备的服役性能和可靠性。阐明切削力和切削热对加工损伤的影响机制是实现 CFRP 高质高效加工的关键。基于数字图像处理技术，建立 CFRP 铣削加工表层损伤面积评价方法，该方法可有效避免传统方法因只能考虑损伤的一维长度信息而无法评价加工损伤程度的问题。分析主轴转速和每齿进给对表层损伤面积、切削力以及切削温度的影响规律，并讨论切削力和切削温度对表层损伤面积因子的影响。研究表明：通过减小单次切削厚度和控制切削温度在适合区间可有效降低加工损伤。

196 金刚石砂轮 V 形尖端切向磨削修整试验研究

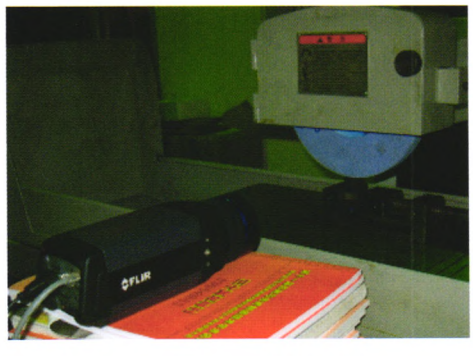
梁志强　吴立飞　周天丰　张素燕　王秋燕　焦　黎　王西彬



摘要：针对超硬模具微结构磨削过程中金刚石砂轮 V 形尖端几何精度难以保证以及修整困难等问题，提出碳化硅修整轮切向磨削修整方法，采用不同修整参数对树脂结合剂和金属结合剂金刚石砂轮 V 形尖端进行修整试验，并采用修整后的金刚石砂轮进行了微结构阵列磨削试验。结果表明：在一定的修整参数下，树脂结合剂和金属结合剂金刚石砂轮的尖端圆弧半径分别达到 3.5 μm 和 2.0 μm；两种砂轮尖端圆弧半径随着修整轮进给速度、修整深度的增加而增大，随着金刚石砂轮转速和修整轮粒度号的增加而减小；金属结合剂金刚石砂轮修整效率较低，修整后的尖端圆弧半径较小。微结构阵列磨削结果表明，修整后的两种金刚石砂轮能够满足微结构加工，而且发现树脂结合剂金刚石砂轮加工的微结构表面质量较好，更易于实现延性域磨削。

203 成形磨削温度的理论与试验分析

郭国强　安庆龙　林立芳　杨长祺　陈　明

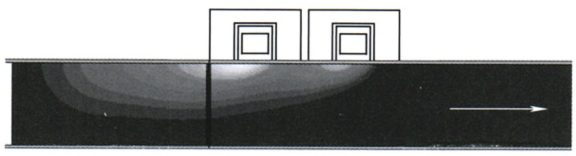


摘要：通过磨削弧区内直角三角形热源分布以及一维导热过程的简化，并基于平面连续磨削温度的理论分析，构建了成形磨削温度的数值计算模型。该模型首先能够对型面交界处平面与斜平面磨削热源的耦合作用进行描述，同时也能对型面交界处最易产生磨削烧伤这一现象进行定量化分析。依据平面磨削过程中砂轮与工件实际接触弧长和热量分配比例的理论计算模型，分别建立了成形磨削过程中平面与斜平面两个组成部分的热量分配比例计算方法。最后，设计了成形磨削温度的试验测试方法，通过成形磨削加工试验对数值计算模型的有效性进行了验证。试验结果表明，由于成形磨削过程中同时存在平面和斜平面两个磨削热源，二者之间存在耦合作用，从而导致平面与斜平面交界处的温升急剧增加，极易引起磨削烧伤。

万方数据

216 强化感应加热辅助磨削 Inconel718 的残余应力主动调控

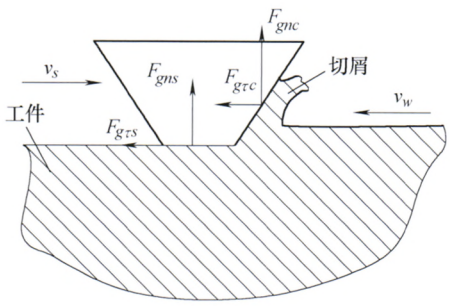
李　峰　李学崑　融亦鸣



摘要： 镍基高温合金 Inconel718 具有良好的高温强度和高耐蚀性能，广泛应用于制造航空工业特别是燃气涡轮发动机的高温构件。然而最终的成形磨削工艺常常在零件表面形成较大的残余拉应力，这对其疲劳强度和寿命等服役性能极为不利。研究和开发了一种基于磨削区的热温度梯度调节原理的复合磨削工艺，以主动调节 Inconel718 零件表面残余应力分布。在磨削工艺中利用控制良好的感应加热装置将热源嵌入到工件亚表层，通过对所需的温度梯度分布的主动控制实现对残余应力的调节。结果表明，通过合理调节感应加热和磨削工艺参数，可以获得较小的表面残余拉应力甚至压应力分布。本研究能够减少当前生产中为获得表面残余压应力而额外采取的喷丸等后续工艺，实现磨削残余应力的在线主动控制，且该技术也可以扩展推广应用到其他材料以及其他加工工艺中，如切削、铣削等。

227 20CrMnTi 钢齿面磨削力模型构建与分析

田欣利　王　龙　刘　谦　唐修检　杨理钧　杨绪啟



摘要： 为了深入研究 20CrMnTi 钢的磨削力生成机制与规律，基于 Lawn 压痕模型接触变形区和三角形截面切屑的基础上，构建立了单颗磨粒的磨削力、最大未变形切屑厚度、齿面磨削力的理论数学模型。磨削力主要源于切屑变形和摩擦，且存在磨削尺寸效应。磨削力随着磨削深度、进给速度、材料硬度和磨粒顶锥角等因素的增大而增大，然而却随着磨削速度与砂轮直径等因素的增大而减小。在砂轮磨损过程中，砂轮特性参数改变对磨削力产生较大影响。结合理论模型分析，开展了齿面局部磨削试验研究，详细分析了不同 α 常数情况下磨削力随磨削用量变化拟合曲线的残差和拟合优度 F 值。

35 第 7 届上银优秀机械博士论文奖——佳作奖

136 第 7 届上银优秀机械博士论文奖——佳作奖

168 第 7 届上银优秀机械博士论文奖——佳作奖

202 第 7 届上银优秀机械博士论文奖——佳作奖

万方数据

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

Vol.54 No.3 February 2018

CONTENTS

1 **Influence of Vertical Loads on Quasi-constant Rotational Stiffness of The Cross-spring Flexure Pivot**
LI Yongzhen BI Shusheng ZHAO Hongzhe YANG Qizi ZHANG Shuqing

8 **Variable Frequency Drive and Transmission System of the Heavy Armoured Face Conveyor**
LI Yang HE Baiyan YUAN Pengfei NIE Rui LI Guoping

18 **Tip-following Path Planning and Its Performance Analysis for Hyper-redundant Manipulators**
WANG Jungang TANG Lei GU Guoying ZHU Xiangyang

26 **Task-orientated Design Method of Practical Constraint Metamorphic Mechanisms**
LI Shujun WANG Hongguang LI Xiaopeng YANG Hexu DAI Jiansheng

36 **Kinematic and Performance Analysis of a 4-DOF 2PPPaR Parallel Manipulator**
WU Cuncun YANG Guilin CHEN Chinyin ZHANG Chi LIU Shulin

46 **Kinematics and Dexterity Analysis of the Human-machine Compatible Exoskeleton Mechanism for Shoulder Joint Rehabilitation**
LI Jianfeng LIU Junhui ZHANG Leiyu TAO Chunjing JI Run ZHAO Pengbo

55 **Design and Analysis of a Active-passive Variable Stiffness Flexible Joint**
SHI Yanlei ZHANG Xiaojun ZHANG Minglu

63 **A Study on Microstructure and Tribology Performance of Samples Processed by Selective Laser Melting (SLM)**
CHEN Xubin GE Xiang ZHU Yi YANG Huayong

73 **Research on Time-varying Friction Characteristics of Gear Tooth Surface Based on Twin-disc Setup**
LI Zhi CHEN Jian SHEN Jinlong LIU Kun

82 **Molecular Dynamics Simulation for Continuous Dry Friction on Fretting Interfaces**
PAN Shuaihang YIN Nian ZHANG Zhinan

88 **Study on Stress and Tribology of Micro Contact Surface in Seawater**
ZHOU Jie WU Jinjun YU Gegang YANG Yousheng DUAN Haitao YI Meng

95 **Analysis of Lubrication Characteristic of Single Droplet in the Elastohydrodynamic Lubrication Contact**
LI Shuyi GUO Feng LI Xinming

101 **Study on the Magnetic Friction Characteristics of Magnetorheological Elastomers**
LI Rui REN Dejun WU Xuan LIU Lin WANG Xiaojie

108 **A Corner Rounding and Trajectory Generation Algorithm for Five-axis Linear Toolpath**
ZHAO Huan ZHANG Yonghong DING Han

万方数据

117 **Tool Selection of Multi-axis Machining for Channel Parts with Sculptured Surface**
WU Baohai LIANG Mancang ZHANG Ying LUO Ming

125 **Modeling and Optimizing for Multi-objective Partial Disassembly Line Balancing Problem**
LI Liuke ZHANG Zeqiang ZHU Lixia ZOU Binsen

137 **Research on Boundary Features Extraction and Reconstruction for Tire Tread Patterns**
DONG Yude ZHANG Rongtuan SONG Zhonghui FANG Yuqiang BAI Sucheng ZHANG Fangliang

148 **Research on Single-machine Inverse Scheduling Methods with Due-dates Based on Variable Neighborhood Search Hybrid Algorithm**
MOU Jianhui PAN Quanke MOU Jiancai XU Rufeng YU Shanshan

160 **The Measure and Search Method of Process Knowledge Element Based on Machining Intent**
CHANG Zhiyong TAO Lizun LI Jiajia XI Zengfei

169 **Investigation of Oil Droplet Coverage Rate and Droplet Size Distribution under Minimum Quantity Lubrication Condition**
ZHANG Song ZHANG Chengliang SHI Wenhao LÜ Ying CHEN Jie

178 **Optimization Method for Rotation Angle of the Non Modal Rotary Shaft**
TANG Qingchun YIN Shaohui WANG Yongqiang ZHANG Jian

186 **Measurement and Analysis of Cutting Force, Temperature and Cutting-induced Top-layer Damage in Edge Trimming of CFRPs**
WANG Fuji YIN Junwei JIA Zhenyuan MA Jianwei XU Zhenyu WANG Dong

196 **Experimental Study on Diamond Wheel V-tip Truing Using a Tangential Grinding Truing Method**
LIANG Zhiqiang WU Lifei ZHOU Tianfeng ZHANG Suyan WANG Qiuyan JIAO Li WANG Xibin

203 **Analytical and Experimental Investigation of Temperature in Form Grinding**
GUO Guoqiang AN Qinglong LIN Lifang YANG Changqi CHEN Ming

216 **Active Control of the Residual stress in Inconel718 Grinding Assisted by the Strengthen Induction Heating**
LI Feng LI Xuekun RONG Yiming

227 **Construction and Analysis of Grinding Force Model of 20CrMnTi Steel Tooth Surface**
TIAN Xinli WANG Long LIU Qian TANG Xiujian YANG Lijun YANG Xuqi

万方数据

《机械工程学报》第十届编委会

荣誉主任

王补宣（院士） 路甬祥（院士） 潘际銮（院士）

荣誉委员

王玉明（院士） 王先逵（教授） 石治平（研高） 叶声华（院士） 宁汝新（教授） 过增元（院士）
刘　飞（教授） 刘人怀（院士） 刘大响（院士） 刘友梅（院士） 关　桥（院士） 杨叔子（院士）
宋玉泉（院士） 陈学俊（院士） 林尚扬（院士） 周孔亢（教授） 周尧和（院士） 柳百成（院士）
钟　掘（院士） 钟秉林（教授） 闻邦椿（院士） 徐金梧（教授） 徐滨士（院士） 郭孔辉（院士）
温诗铸（院士） 谢友柏（院士） 熊有伦（院士） 潘健生（院士）

主　　任

钟群鹏（院士）

副 主 任

王文斌（编审） 王国彪（教授） 陈学东（院士） 陈超志（研高） 黄　田（教授） 雒建斌（院士）
MCCARTHY J Michael（教授）

国内委员

丁　汉（院士） 王　雪（教授） 王田苗（教授） 王立平（教授） 王庆丰（教授） 王时龙（教授）
王树新（教授） 王祖温（教授） 王润孝（教授） 孔祥东（教授） 邓宗全（院士） 卢秉恒（院士）
史铁林（教授） 付铭旺（副教授） 仪垂杰（教授） 吕　明（教授） 刘　强（教授） 刘少军（教授）
刘宏民（教授） 刘献礼（教授） 刘德顺（教授） 孙汉旭（教授） 严新平（教授） 李大勇（教授）
李永堂（教授） 李圣怡（教授） 李杨民（教授） 李荣彬（教授） 李荣德（教授） 李剑峰（教授）
杨华勇（院士） 杨兆军（教授） 杨兆建（教授） 何存富（教授） 张　峥（教授） 张士行（教授）
张义民（教授） 张宪民（教授） 张湘伟（教授） 陈　新（教授） 陈　鹰（教授） 陈炤彰（教授）
陈朝阳（教授） 邵新宇（教授） 苑世剑（教授） 苑伟政（教授） 范光照（教授） 林忠钦（院士）
周祖德（教授） 项昌乐（教授） 赵　继（教授） 赵　韩（教授） 赵丁选（教授） 胡正寰（院士）
钟志华（院士） 姚振强（教授） 秦大同（教授） 袁巨龙（教授） 袁寿其（教授） 耿荣生（教授）
贾振元（教授） 顾佩华（教授） 徐西鹏（教授） 高咏生（教授） 高金吉（院士） 郭万林（院士）
郭东明（院士） 黄明辉（教授） 黄洪钟（教授） 梅雪松（教授） 葛世荣（教授） 韩　旭（教授）
曾　攀（教授） 谢建新（院士） 雷源忠（研究员） 廖运炫（教授） 谭建荣（院士） 谭援强（教授）
翟婉明（院士） 黎　明（研究员） 檀润华（教授）

国外委员

ALGIN Vladimir（白俄罗斯） CAO Dongpu（英国） CAVALLUCCI Denis（法国）
CECCARELLI Marco（意大利） CHEN Ye-Hwa（美国） CHEN Yongkang（英国）
CHEN Yubao（美国） CHENG Harry H（美国） CHENG Kai（英国）
CHETWND Derek G（英国） CHIU George（美国） DAI Jiansheng（英国）
DEAN Trevor Anthony（英国） DONG Zuomin（加拿大） FATIKOW Sergej（德国）
FENG Yuntian（英国） FLEWITT Peter E J（英国） GAO Wei（日本）
GE Qiaode Jeffrey（美国） GIOVANOLA Jacques（瑞士） GOGU Grigore（法国）
GU Fengshou（英国） GUO Yuebin（美国） HAGIWARA Ichiro（日本）
HUANG Yong（美国） HUANG Han（澳大利亚） IWATSUKI Nobuyuki（日本）
JAUREGUI Juan Carlos（墨西哥） Wallaschek Jörg（德国） LI Dongyang（加拿大）
LI Xiaoping（新加坡） LIM Teik Chin（美国） MORGAN Michael（英国）
PARK Jong-Kweon（韩国） SINAPIUS Michael（德国） SU Chunyi（加拿大）
SU Daizhong（英国） TIAN Guiyun（英国） WANG Jun（澳大利亚）
XUE Deyi（加拿大） YANG Lianxiang（美国） YE Lin（澳大利亚）
ZHANG Bi（美国） ZHANG Chun(Chuck)（美国） ZHANG Hongchao（美国）
ZHANG Liangchi（澳大利亚） ZHAO Xudong（英国） ZHOU Libo（日本）
ZUO Mingjian（加拿大）

ISSN 0577-6686

万方数据