

面向高端装备制造需求， 聚焦高性能精密制造研究

——走进精密与特种加工教育部重点实验室

Focus on High-Performance Precision Manufacturing for High-End Equipments

[编者按] 大连理工大学精密与特种加工教育部重点实验室 2003 年 11 月由教育部批复立项，2007 年 7 月通过教育部验收后被批准对国内外开放。实验室定位于先进制造领域中精密与特种加工技术应用基础研究，面向机械制造学科前沿和国家战略性新兴产业高端装备制造发展需求，聚焦高性能零件精密制造，重点围绕精密/超精密加工理论与技术、特种加工及复合加工技术、精密测量与加工过程数字化控制技术、微系统与微制造技术等开展科学研究和技术创新，培养高素质、高水平的创新型人才，为我国高端装备制造技术发展提供理论与技术支撑。

实验室概况

实验室现有中国科学院院士 2 人、中国工程院院士 1 人，国家杰出青年基金获得者 2 人、长江学者特聘教授 3 人、国家万人计划领军人才 3 人。2013 年入选科技部创新人才推进计划重点领域创新团队“精密、特种加工与微制造创新团队”、2013 年和 2016 年分别获批“精密制造理论与技术基础研究”国家自然科学基金委创新研究群体及考核优秀滚动资助。2019 年“大连理工大学高性能精密制造创新团队”荣获国家科学技术进步一等奖(创新团队奖)。

实验室在主任郭东明院士的带领下，面向国民经济和国家重大工程领域高端装备精密制造需求，针对高端装备高性能制造中关键技术难题和瓶颈问题，坚持高性能精密制造的基础理论、方法和技术研究方向不动摇，坚持多学科交叉发展和产学研用相结合不动摇，坚持团队文化建设和

中青年学者梯队培养不动摇，突出精密/超精密加工及特种加工研究和人才培养特色，通过持续“聚焦”基础研究主线，从应用基础研究出发，从机理上找出问题根源，开展全新的基础理论、制造技术和装备的系统研究及工程应用。

经过十几年的努力和建设，实验室创建了国内一流、国际知名的先进制造技术基地，汇集了一批来自机械、测控、力学、物理、材料等多学科专业的科研人员，形成了一支由院士领衔、骨干教授和中青年杰出人才为主、具有较强创新能力的稳定创新团队，涌现出一批包括：杰青、长江学者、万人计划人才、优青等年轻有为的科技创新型中青年领军人才，取得了包括牵头 2 项国家技术发明一等奖、1 项国家科技进步一等奖(创新团队奖)、3 项国家技术发明二等奖、十多项省部级科技成果奖一等奖在内的一批重大科技成果，成为我国先进制造领域科学研究和技术创新综

合实力最强的基地之一。

主要研究成果

在长期不断的科研创新活动过程中，实验室主任郭东明院士首次提出了高性能制造的内涵，逐渐凝练和构建出高性能制造的理论体系与方法，引起了国内外学术界高度重视和反响，为我国乃至世界先进制造技术发展提供了全新的思路和学术思想。近十年来，实验室承担了国家自然科学基金重大/重点项目、973 计划项目/课题、863 计划项目、国家科技重大专项项目等国家级项目和重大工程项目，攻克了一大批高端装备/产品及其关键件的精密制造难题，为解决国家战略需求、促进地方经济发展以及装备制造业的科技创新做出了突出贡献，成果广泛应用于近 200 家企业和科研院所。

实验室近五年的部分研究成果简介如下。

(1) 高性能零件反求设计制造

理论与方法。传统装备及零件的设计与制造是在选定材料的基础上进行零件几何设计、公差确定与制造实现的过程,零件的性能与其尺寸精度往往表现为线性相关,即认为只要按精确设计的零件几何尺寸及公差要求制造出零件,就可满足零件性能要求。但是仅以几何尺寸公差为关注点的传统设计制造理念,难以满足高性能零件制造需求。实验室经过十余年科技攻关,重点研究了多源约束条件下非线性强耦合的性能反求设计、制造理论与方法等基础性科学问题,揭示了关键构件制造中复杂物理化学过程的演变规律及服役环境要素对性能形成的影响规律,提出了性能约束下的定向设计类反问题求解方法和高性能复杂曲面零件的可控去除与增量制造理论和方法,建立了零件性能与几何、材料等参量间的多变量耦合关系模型、基于性能误差补偿加工的反求制造新原理、可定域定量控制加工的精密加工新技术,研制了一批高性能零件系列加工测量一体化装备。

(2) 高性能碳纤维复合材料构件高质高效加工理论与技术。轻质高强碳纤维增强树脂基复合材料是航空、交通等运载装备减重增效的优选材料,但此类材料加工极易产生随机不可控损伤,难以保证设计性能,传统金属材料加工理论与技术不适用,严重制约了此类材料应用。实验室经过长期的系统性基础研究,建立了虑及纤维法/切向约束作用和树脂等材料温变特性的切削理论模型,构筑了碳纤维复合材料加工材料去除和损伤形成理论,提出了“微元去除”复材加工损伤抑制新原理,发明了“反向剪切”复材切削损伤消减新方法,揭示出复材加工损伤随温度变化的规律,发明了负压逆向冷却和自风冷排屑适温加工工艺,开发出系列高质高效加工工具和装备,为高性能碳纤维复合材料构件加工损伤控制

提供了可靠的工艺手段,解决了多个企业重大技术难题。

(3) 硬脆和软脆材料的精密和超精密加工方法与技术。精密和超精密加工一直是先进制造领域的前沿课题。针对国际上硬脆或软脆材料的超高精度低损伤加工难题,通过系统的技术基础研究,揭示了硬脆功能晶体材料超精密加工界面微观作用机制和加工缺陷产生机理,提出了微米级面形精度和高完整性表面超精密加工新原理,发明了易潮解软脆功能晶体水溶解超精密加工新技术,开发出具有自主知识产权的新工艺及新装备,为相关企业的科技进步做出了应有的贡献。

(4) 多尺度微纳结构与功能表面层精密制造方法。针对仿生微纳传感器、生物微流控芯片等高性能元器件中多尺度宏微结构和特种功能表面层精密制造的需求,开展了仿生结构和仿生超亲/疏水功能表面层创新设计、宏微结构自适应精准创新方法等研究。揭示了水龟体表面等微纳米复合结构超亲/疏液作用机制,建立了微流控蒸腾驱动的微沟道多尺度仿生结构设计方法;研制出基于纳米压印的自适应微纳米结构复制方法,实现微米尺度非平整基底上纳米结构的复制;提出了一种“等离子体刻蚀与光子晶体自组装”的微纳通道一体化定域可控复合制造方法,研制出基于电场-流场同轴复合聚集的纳米打印装备;开发出多种用于疾病快速诊断的微流控芯片并实现批产应用。

(5) 基准级渐开线最佳成型原理与创造性加工工艺原理。基准级标准齿轮作为齿轮量仪精度传递的实体标准器,对提高国家齿轮制造的整体技术水平具有重要作用。齿轮加工技术专家王立鼎院士领衔科技攻关,对1级精度标准齿轮制造所涉及的机床精化改造、磨齿工艺、精密测量等开展研究,经过十余年的不懈



努力,创立了具有全部自主知识产权的1级精度标准齿轮整套加工与测试新技术,实现了最高级别的基准级齿轮的精密加工。其中,基准级齿轮加工精度指标与齿廓偏差测试水平国际领先。研究加工出的1级精度基准级齿轮成为中国计量科学研究院、中国测试技术研究院等部门精密检测用基准级实体基准。

交流与合作

实验室十分重视与国内外的学术交流,通过“111”引智计划与国际同行多方位交流与合作,国际影响力显著增强。近十年来,先后与国内及美、英、德、日、韩、澳大利亚、新加坡等国外数十所知名大学、研发机构和企业开展了学术交流与合作,主办并主持国际国内学术交流会议10余次,应邀在国际学术会议上作报告20余次。此外,有4人次担任国际期刊主编、10余人次担任国际期刊编委。

未来规划

实验室瞄准机械制造学科前沿和先进装备制造发展需求,进一步凝练学术方向,突出高性能精密制造方向和学术特色,进一步提升基础研究水平与技术创新能力;加强团队建设,重视中青年人才的培养,吸引更多高层次科研人才加盟;加强国内外学术合作与交流,进一步扩大国际影响,掌握本领域发展国际动态,使研究工作处于领域前沿。

(采访 雷松)