

面向国家重大战略需求 聚焦高性能表面精密加工

——走进重庆市材料表面精密加工及成套装备工程技术 研究中心

Facing National Major Strategic Needs, Focus on High-Performance Surface Precision
Machining

[编者按] 重庆市材料表面精密加工及成套装备工程技术研究中心(以下简称“中心”)成立于2005年,依托重庆三磨海达磨床有限公司和重庆大学,以三磨海达专业技术研究和丰富的管理及市场运作经验为支撑,结合重庆大学以硕士、博士及博士后培养建立的产学研流动机制,成为国内专注于各类材料表面精密加工以及相关成套装备工程化研发及推广技术应用研究机构,通过不断加强在材料表面精密加工技术、磨料与材料表面交互作用机理、精密机床结构设计与优化技术、强力高速高效复合磨削技术等方面的研究与创新及科技成果转化,为国内广大企业引进、消化、吸收先进材料表面精密加工技术提供技术支撑和服务平台。

中心概况

中心现有固定科研人员60余人,其中高级职称20人,享受国务院政府津贴2人。中心注重人才梯队建设,目前形成了以教授和博导为带头人,以博士后、博士生、硕士生为研究主力的科研攻关队伍和以具有丰富工程经验的科技人员为基础的生产、工程应用及成果市场转化队伍。

中心在主任黄云教授的带领下,以市场为导向,瞄准国外先进技术和技术发展前沿,围绕涉及材料表面精密加工的共性、关键性技术问题进行技术开发和攻关,对具有重要应用前景的科研成果进行系统化、配套化和工程化研究开发。通过不断加强在材料表面精密加工技术、磨料与材料表面交互作用机理、精密机床结构设计与优化技术等方面的研究与创新,

以科技成果转化为主线,同时联合上下游单位,形成既有技术优势和研发优势,又重视生产和实现技术开放服务的运行模式,不断推出具有高附加值的新产品、新工艺、新技术。

中心注重研究基础平台建设,先后投入大量资金进行仪器设备采购、研制、完善和改进,改善材料表面精密加工研究的基础条件。中心现拥有自行研制的七轴六联动高精度数控砂带磨床、复杂曲面精密加工装置、机器人砂带加工系统等大型装备以及激光砂带协同加工装置、单颗粒复合磨削系统等基础研究平台以及先进的检测、分析设备。

经过十几年的发展和建设,中心创建了行业一流、国内知名的材料表面精密加工基地,形成了一支由行业专家带头、骨干教授和青年杰出人才为主的创新型团队,取得了包括中国

机械工业联合会技术发明一等奖和中国产学研合作促进会一等奖在内的多项国家级和省部级科技奖励,成为我国表面精密加工领域重要的研发基地之一。

研究方向及成果

中心先后承担了国家自然科学基金重点基金项目、“九五”攻关项目、国家863项目、国家自然科学基金项目、国家重大专项、重庆市科技攻关项目、重庆市重大科技专项在内的研究项目30余项。获中国发明专利50项、美国专利2项、软件著作权3项,形成行业标准10项,出版专著2部,发表SCI论文100余篇。研究成果经发动机台架试验验证,提高压气机效率2%、降低排气温度15℃,实现了发动机服役性能跨越式提升。保障了我国现役太行、大运等重点型

号发动机逾 60 种规格叶片的稳定批产。基于航空发动机叶片砂带精密磨削方法与技术开发的系列化叶片数控砂带磨削装备在中国航发沈阳黎明、中国航发动力、中国航发成发、中国航发南方公司等 15 家军民企业进行了重点推广应用。项目开发的系列化装备跻身叶片精密制造国际高端行列,已在国内骨干发动机制造与维修单位推广应用 40 台套,累计加工叶片 300 余万件,完成各种发动机装机千余台。同时,该成果获中国机械工业科学技术一等奖。

中心近 5 年的研究方向及部分成果简介如下。

(1) 复杂曲面自适应加工关键技术及装备。针对航空发动机叶片和整体叶盘等复杂曲面零部件的高性能表面制造需求和难题,开展了复杂曲面变余量自适应砂带磨削技术和装备研制;提出了基于“N 轴”的力-位控制砂带磨削方法,开发出了七轴六联动数控砂带磨削机床,实现了叶片复杂曲面的自适应打磨;通过研制叶片加工工艺、进排气边抛光、快速精密检测、机床监控等关键技术和构建航空发动机叶片加工生产线,实现了叶片生产和检测水平的提升和生产模式转变,开发出了航发叶片自适应砂带磨削中心等设备。通过自主研制整体叶盘数控柔性抛光工艺方法与机床,开发编程系统,解决了手工抛光效率低、一致性差等问题,实现了国产机床、数控系统、功能部件、刀具在生产线和整体叶盘抛光的示范应用。同时,解决了叶片和整体叶盘加工严重依赖国外数控机床问题,推动了国产机床在航空发动机制造领域的深入应用。

(2) 机器人打磨关键技术研究。针对航发整体叶盘叶片的高尺寸精度和高表面完整性,建立了面向整体叶盘型面结构特征的磨具匹配方法的机器人磨削工艺体系,分析了整体叶盘机器人磨削表面完整性的形成

机理并揭示了整体叶盘机器人磨削表面完整性特征对其疲劳寿命的影响规律,提出了面向整体叶盘高性能表面完整性的机器人磨削动态特性优化方法和机器人自动化磨削编程技术,研发了具有自主知识产权的压气机整体叶盘高性能表面机器人磨削装备及系统。通过关键技术的突破、系统软件的开发和磨削装置的研制,为我国航空发动机制造企业生产高可靠、长寿命的整体叶盘零件奠定了技术基础。

(3) 激光砂带装备研发以及仿生微纳结构加工。针对电子芯片、火箭导流罩、发动机叶片、舰船螺旋桨等重大装备零部件中微纳结构表面精密制造的需求,结合砂带磨削高效、高表面完整性和超短脉冲激光加工微纳结构高精度的优势,提出了“双倾斜”聚焦的加工方法,开发了激光砂带协同加工技术,并自主研发了世界首台激光砂带协同加工装备。与此同时,基于该设备开展了仿生微纳结构加工研究。在分析材料去除模型和超快激光烧蚀的基础上,形成耦合加工方法和熔擦材料去除模型;进行了激光砂带协同加工表面去除机理和表面形貌形成机理研究。目前已经初步实现了 U 形、V 形和波浪形等仿生微纳结构加工,并在钛合金、镍基高温合金等航空材料上得到应用。

(4) 高性能表面加工方法及参数化调控。针对砂带磨削过程当中加工工艺参数和表面性能参数协调控制问题,基于单颗粒、多颗粒磨削试验分析了砂带磨削中材料表面特征的创成规律,建立多参数协同加工调控模型;针对抗疲劳、降噪、减阻等功能性表面开展多参数调控研究,制定特定微结构控制加工工艺方案和路径轨迹,提出了肋状仿生减阻及降噪微纳结构加工方法,并在螺旋桨等零件上得到了应用;在试验探究的基础上提出了超声振动辅助磨削

以及缓进给的抗疲劳表面磨削加工方法;同时搭建了疲劳性能测试的虚拟仿真试验平台,可以实现多场耦合下构件的疲劳寿命分析;中心探索出来的抗疲劳磨削工艺可以提升叶片疲劳寿命 30%,目前已在中国航发南方公司和中国航发西航的叶片加工中得到应用。

国内外交流合作

国内交流合作方面,邀请清华大学、华中科技大学、东北大学、大连理工大学、南京航空航天大学等单位专家学者到中心进行学术交流 50 余人次,同时与其中部分高校建立了互派人员进修 1 ~ 2 个月的合作机制。

国际交流合作方面,一方面,中心与美国 3M 公司、德国 LOSER 公司、意大利 BOSSI 公司、法国 Saint-Gobain 公司等国际知名企业保持紧密合作关系,并与德国 VSM 专业磨具公司联合成立了磨削技术中心。另一方面,中心与新加坡国立大学、英国威斯敏斯特大学、法国圣太田国立工程师学校、荷兰代尔夫特理工大学、澳大利亚墨尔本大学等世界著名高校和研究院所在人才联合培养、技术联合攻关等方面建立了长期稳定的合作关系。同时,中心高度重视国际视野的培养,参加各类国际学术会议 200 人次。

未来规划

中心瞄准国内外先进技术和发展前沿,面向国家重大战略需求,聚焦材料表面的精密加工、功能化仿生表面加工,以及新技术的创新融合研究和市场化应用,力争到 2025 年,至少 3 项高性能表面加工技术达到国际先进水平;同时加强团队人才队伍建设力度,重视年轻人才的培养,吸纳优秀人才;加强国际交流合作,及时掌握本领域最新发展动态,进一步扩大国际影响力,争取做到引领本行业发展。(采访 雷松)