

夯实基础,自主创新 特种加工技术助力航空制造发展

——走进电火花加工技术北京市重点实验室

Solidifying Foundation and Independent Innovation, Developing Non-Traditional Machining Technology to Boost Aviation Manufacturing

[编者按] 电火花加工技术北京市重点实验室以智能多轴联动数控电火花成形加工技术、精密微细电火花加工技术、超硬材料工模具加工技术、电火花加工装备数字化设计性能测试方法及其智能化研究、完整特种加工工艺方案为主要研究方向,着眼于航空、航天、能源等国家重点发展领域需求,围绕关键装备与制造技术突破急需解决的共性技术,开发具有自主知识产权的核心技术和市场竞争力的创新性产品,满足我国装备制造业中的重大关键技术需求。

实验室概况

电火花加工技术北京市重点实验室依托北京市电加工研究所,由北京工业大学和北京迪蒙数控技术有限公司参与共建,2014年7月通过北京市科学技术委员会认定。

实验室先后承担国家“863”计划、国家自然科学基金、国家科技重大专项、工信部智能制造专项、工信部重大项目等省部级以上项目40余项,获部级科技奖励2项、市级科技奖励6项,授权发明专利60余项,制定行业标准4项。实验室形成了以多轴联动精密数控电火花成形机床、精密微细电火花加工机床、超硬刀具数控电火花磨床、精密超硬刀具机械磨床、精密激光打孔机、拉丝模超声加工装备等为主的系列产品60余种,掌握了聚晶金刚石复合片加工、特殊材料闭式结构扭曲型腔零件的精密电火花加工、精密微细电火花加工、微米级丝专用拉丝模加工和超硬

刀具加工等国际国内领先特种加工工艺技术,与国内航空航天领域的重要企业及哈尔滨工业大学、清华大学、北京大学、北京航空航天大学、北京理工大学等高校开展合作,解决国家和企业的研制急需和技术瓶颈。

实验室拥有一批自动化、计算机、数控技术、检测技术、材料学等专业的创新人才队伍,总占地面积近4000m²,拥有特种加工相关成套实验加工设备和先进机械电子测试仪器120余台,总价值超过5000万元。

研究特色及科研成果

实验室坚持“一特二精”特色(一特即特种加工技术,二精即精密机床与精密制造),近年来在电火花成形加工与小孔加工、超硬工模具加工及智能化监测检测技术方面取得系列进展。

(1) 电火花成形与小孔加工装备及技术。

依托国家、北京市科技重大专

项、重大项目等支持,针对航空航天能源领域大型带冠涡轮盘、整体闭式叶轮、超精密零件、叶片打孔零件等关重零件特殊加工需求,通过自主研发攻关,攻克了高精度机床主机制造技术、高效精密低损耗微细电火花加工脉冲电源及控制技术、大功率脉冲电源、六轴联动数控系统、六轴联动CAD/CAM系统、电火花专用大型全浸液转台、在线检测技术、穿透检测技术、自动化换丝刀库以及智能化电火花高效加工工艺等关键技术,开发出多行程多系列电火花小孔加工装备、大型精密六轴联动数控电火花成形机床、六轴联动精密微细数控电火花加工机床等先进装备,解决了重型运载火箭发动机涡轮盘、整体闭式叶轮、航空发动机叶片打孔等加工难题,突破了长期以来困扰惯性器件及伺服阀弹性零件微细结构加工和检测方面的工艺技术瓶颈,多轴联动电火花加工技术达到国际先进水平。通过深入开展可靠性保障技术研究,

显著提升了机床稳定性和可靠性,机床可靠性在国内首屈一指,得到航空航天、能源、模具等行业用户的广泛认可,促进了我国国防军工重点领域制造技术的进步。

自主研发的具有自主知识产权的HS600六轴精密数控电火花小孔加工机床,具备六轴数控五轴联动加工能力,可加工异形孔,加工孔径 $\Phi 0.2\sim 3.0\text{mm}$,深径比最大可达1:160,重熔层厚度 $\leq 0.02\text{mm}$,在高温合金等典型涡轮叶片材料上制备的孔无裂纹、无拉弧、无缺陷,适用于各类金属材料孔加工需求,尤其是航空航天、医疗卫生、能源等领域小孔、槽类零件的加工。

(2) 超硬刀具加工装备及技术。

围绕以PCD(聚晶金刚石)为代表的超硬刀具加工技术及装备,开展了基于尺度效应的PCD刀具微细电火花放电磨削加工关键技术、V-CUT刀自动化加工技术、基于视觉检测反馈控制的全自动化超硬刀具磨削技术及激光刃磨技术研究,突破了基于图像识别技术的数控系统、机器视觉检测、IPC与PLC控制、智能跟踪、精密传动、激光加工控制等关键技术,开发出全自动化磨刀机床、激光磨刀机床、超硬V-CUT刀自动刃磨机床等新型装备,实现直线刃口、圆弧刃口的自动磨削和各种异形孔的加工及V-CUT刀自动刃磨,解决了PCD/PCBN刀片、焊接刀具快速磨削和高精度磨削的量产需求,被加工刀具尺寸一致性好、精度高、刃口质量高,达到国外进口超硬刀具的精度指标和使用寿命,为我国超硬刀具生产企业节约资金、降低刀具制造成本提供了选择。

(3) 智能化监测检测技术。

基于物联网与云计算技术,在电火花特种加工领域开展智能化监测检测技术研究,开发出基于云端的寿命保障系统、复杂薄壁件加工变形控制技术,建立加工过程监测诊断和

加工振动控制,实现了军工领域关键复杂薄壁结构件的高效精密加工;通过移动监控终端和本地监控终端对多台机床及其关键部件的运行状态进行实时监测,实现对关键部件寿命的预测预警、故障定位,提高效率,降低维护成本,提升了机床生产企业的自动化、数字化、智能化程度。

重大成果工程化应用

实验室电火花成形加工技术团队利用掌握的五轴、六轴联动电火花先进设计、制造、工艺技术完成的整体封闭式叶轮在航空企业新机交付中发挥重要作用。该产品对于提高发动机性能有重要作用,但由于该类零件结构复杂,精度要求高,加工技术难度大,采用数控铣削方式加工,刀具刚性受限制致使加工成本较高。而采用五轴联动精密数控电火花加工装备和技术,解决了其加工制造难题,单件节约刀具成本10余万元。

使用五轴、六轴联动电火花加工技术和装备为中国航发企业完成了军用涡扇发动机机匣、压气机转子、封闭式整体涡轮盘、机匣内套等20多种精密复杂零部件的加工。其中,封闭式整体涡轮盘的材料为高温合金,叶片形面精度高,流道弯扭狭长,最窄处仅数毫米,采用切削加工,刀具可达性难以保证形面精度,刀具磨损也到了难以接受的程度;改用电火花加工后,合理的工具电极设计和工具电极进给轨迹不仅保证了加工精度,效率也明显提高,解决了新型涡扇发动机和舰用燃气轮机研发过程中关键型号的研制难题,为国家军、民建设创造了巨大的经济和社会效益,对保证国防制造安全起到有力的促进作用。

实验室开发的多轴联动电火花成形加工工艺技术及系列化机床已进入航空工业、中国航发、航天科工、航天科技、沈鼓集团、哈工大、清华、北大、北航、北理工等国家大型重点



HS600六轴精密数控电火花小孔加工机床

企业、高校及科研院所,覆盖航空航天、军工能源、汽车、化工等多个领域,完成的透平压缩机、发动机用整体封闭式叶轮、大型薄壁件空间复杂位置孔、微细伤痕模拟、碳纤维增强型碳化硅(C_f/SiC)复合材料、 $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$ 材料超高温陶瓷基复合材料零件等都是航空航天所需的重要零部件,多轴联动精密电火花加工装备及工艺技术为上述单位解决了关键技术“瓶颈”问题,节省了人力、物力、财力和时间成本,创造了经济效益和社会效益。

对外交流与合作

实验室与首都航天机械有限公司成立“特种加工技术联合实验室”,在航空航天电火花加工工艺国产化、特种加工自动化组线方面开展深入合作。作为承办单位,实验室每两年组织电火花成形加工技术领域的品牌学术会议“全国电火花成形加工技术研讨会”,该会议自2000年来,已成功举办10届,对我国电火花成形加工技术的发展和科技进步发挥了积极作用,已成为我国特种加工领域的一项重要学术活动。实验室依托单位作为企业博士后流动工作站,始终保持开放合作交流的发展理念,与哈尔滨工业大学、北京理工大学、北京航空航天大学以及航空、航天、能源领域企业共同开展重大项目攻关、复杂关键技术攻关以及人才培养等。

(采访 逸飞)