

# 瞄准航空制造需求 聚焦高能束流加工

## ——走进高能束流加工技术国家级重点实验室

### Application of Power Beam Processing in Aviation Manufacturing

[编者按] 高能束流加工技术以高能量密度束流为热源与材料作用,从而实现材料的去除、连接、生长和改性,已成为航空制造领域中不可或缺的技术手段。高能束流加工技术国家级重点实验室依托中国航空制造技术研究院,1993年4月批准立项,1996年3月批复运行,现拥有研究人员60余人。实验室现主要围绕新材料、新结构的激光、电子束、离子束及等离子体加工技术和关键装备技术等开展研究,并逐步形成自己的研究优势,取得了系列研究成果。

#### 重要进展与课题任务

(1) 开展激光双光束焊接技术研究,突破了双光束激光焊接焊缝成形与缺陷控制、焊接过程稳定性与质量一致性控制、大尺寸复杂壁板结构应力变形控制等关键技术,保证了壁板内纵横交错的长桁、隔框的“净尺寸”连接,焊后变形量小于0.5mm,在国内首次实现了双光束焊接技术在飞机机体结构上的应用。此技术的突破与应用,不仅增加了有效接合率,提高了结构强度,而且结构减重可达16%。技术达到国际先进水平。

(2) 在国内率先研发了电子束熔丝成形技术,建立了电子束熔丝增材制造技术成形功率、速度等关键成形参数与堆积形貌特征参量之间关系的数学模型;开发出具有自主知识产权的电子束增材制造近净成形工艺装备样机,最大稳定成形速度5kg/h。根据强化理论研究成果,开发了900MPa、930MPa、960MPa、1000MPa、1050MPa、1100MPa系列强度级别合金的性能调控技术体系,

实现了钛合金结构力学性能调控。

(3) 高质量高效率超短脉冲激光制孔技术研究。该项技术主要针对我国现代高性能航空发动机对高质量、高效率气膜冷却小孔加工技术的迫切需求,尤其是热障涂层在发动机热端部件应用中先涂层后制孔的发展趋势,结合窄脉冲激光器,尤其是皮秒、飞秒等超短脉冲激光器技术的最新成果,开展高质量高效率超短脉冲激光制孔技术研究。通过研究实现了纳秒脉冲激光高质量加工涡轮叶片气膜孔;实现了超短脉冲激光在表面制备热障涂层的高温合金材料上加工小孔无热致缺陷;突破了薄壁结构大倾角( $>80^\circ$ )和大长径比( $>20$ )空间分布密集小孔加工技术。研究成果为叶片气膜孔激光高质量加工提供了新的技术途径。

近年来,实验室共承担国家任务、国防任务等各类课题135项。其中属于重大课题任务的有1项,有103项课题通过结题验收,部分取得工程应用。其中代表性的课题有:

(1) 涡轮外环高温可磨耗涂层研制及使用可靠性评定与验证。针对航空发动机气路封严关键部件——涡轮外环可磨耗涂层存在易剥落、易掉块、可磨耗性能较差等缺点,突破可磨耗涂层与基体间界面冶金结合的关键技术,开展涂层材料及制备工艺优化及其对性能影响的研究,完善工艺标准和质量控制标准,提高涂层质量稳定性,实现涡轮外环可磨耗涂层工程化应用。

(2) 激光/电子束精密增材成形技术。针对航空航天装备金属复杂结构的功能设计一体化技术迫切需求,开展钛合金激光/电子束精密增材成形技术材料、工艺及性能调控等基础研究;突破了大范围高精度束流偏摆和协同关键技术,掌握了激光选区熔化增材制造大尺寸钛合金结构应力变形控制方法;突破某型号飞机复杂结构的激光选区熔化成形和火箭发动机复杂结构的电子束选区熔化成形等技术难题。

(3) 钛合金整体叶盘激光冲击

强化应用研究。针对钛合金整体叶盘/片零件开展激光冲击强化工艺研究,优化工艺参数,制定工艺规范。通过对某型发动机风扇整体盘叶片进排气边缘、叶身根部、叶尖及修复区进行强化,装机考核风扇整体盘叶片抗冲刷、抗外物破坏、抗盐雾腐蚀等性能,评估叶片强化后的高低周疲劳性能,满足发动机更高推重比、更长寿命设计要求。

### 研究优势与技术交流

实验室注重开放交流,通过支持实验室高层次人才担任各级专家组成员、学术任职、客座教授等方式,扩大高能束流加工技术学科辐射影响。同时,实验室积极参与各类与高能束流加工技术相关的国家、省部级的专业发展规划、指南编写等,先后参与中国工程院重大咨询项目研究,对若干重点渠道重点项目指南提出需求并获得较多采纳。

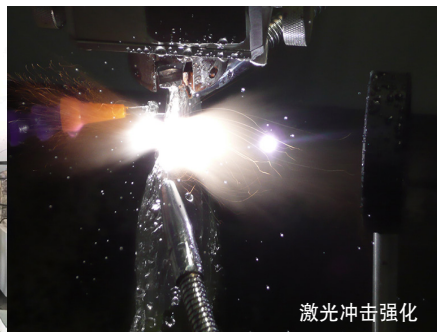
近年来,共对外发布航空联合基金项目16项,项目均为国内知名高校和科研院所承担。实验室主办国际会议3次、国内会议2次,先后有近200人次在国际国内会议做主题报告,与依托单位共同协助举办了3D打印成果展,参展了“埃森”工业展、增材制造成果展等各类工业展览会,通过学术报告、技术交流、成果展示等多种形式介绍高能束流加工技术与应用进展情况等,为同行提供交流机会,有力地推动了高能束流加工技术的发展。

### 未来规划及人才梯队培养

近期目标:重点发展高能束流智能制造和绿色制造技术,实现高能束流加工技术自主创新能力的提升,实现关键专用工艺装备的自主保障,形成优势技术群和系统集成能力。进一步发挥创新平台作用,使科研团队结构更加合理,科研骨干人才层次和数量大幅增加,基



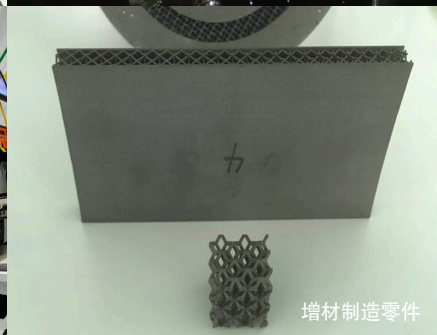
离子镀膜设备



激光冲击强化



双光束激光焊接



增材制造零件

本建成良性互动、运行高效的实验室科技创新体系。

重点突破短脉冲激光束流品质优化、超快激光表面结构功能一体化造型和去除、双光束激光焊接、电子束多束流分束、低真空电子束加工和高能离子源等关键技术;继续深入开展高能束流复合加工技术应用基础研究并突破复合热源焊接、表面工程应用关键技术,使各项新技术成熟度由目前的3级提升至5级以上,实现2~3项创新性研究成果的转化应用。

开展增材制造新材料新结构开发及大型整体构件的应力、变形、缺陷与组织性能等基础研究,突破高温、高强、梯度金属材料、复合材料等新材料的增材制造技术,超大型结构的直接沉积混合制造技术,大型复杂金属结构的激光选区熔化增材制造技术,高效率、高精度激光/电子束选区熔化增材制造技术,增材制造专业达到国际先进水平。

进一步完善高能束流加工技术学科体系框架,建设集计算模拟-原理分析-实验验证-性能评价-成果推广于一体的国际先进的高能束流加工技术创新研究基地,不断

推进高能束流加工技术的应用与发展。培养2名学术带头人、优秀中青年5人,自主招生及联合培养硕士研究生10人/年、博士研究生2人/年,主办或承办国际会议1次/年。

中期目标:专业技术能力进一步加强,到2025年期间,实验室至少10项高能束流加工技术达到国际先进水平;自主创新能力进一步提升;工艺、试验、测试等仪器和设备达到国内先进水平;建成国际先进的高能束流加工技术创新性研究、人才培养和开放交流基地,保持队伍结构的合理性;主办或承办国际会议1次/年。重点开展新材料新结构高能束流焊接、高能束流表面改性及防护、电子束熔丝沉积/粉末熔融快速成形等应用基础、关键工艺与装备技术研究。

远期目标:建设成为国际知名的国家级重点实验室,形成具有国际竞争力的技术支撑平台和具有综合优势的人才队伍,开创基础研究、应用研究、前沿探索研究全面发展的新局面,在研究成果、人才培养、成果转化等方面与国外同类国家实验室相当。

(采访 海山)