

# 夯实技术基础研究 持续驱动创新发展

——访中国工程院院士、中航工业北京航空制造工程研究所研究员关桥

## Tamp Technical Basic Research to Drive Innovation and Development Continually

本刊记者 良辰

[编者按] 高能束流加工技术是 21 世纪最重要的先进制造技术之一,具有非接触、能量精确可控、材料适应性广、柔性强、质量优、环境友好等综合优势,已成为衡量一个国家工业制造水平的重要指标。高能束流加工技术重点实验室已建立了比较完整的高能束流加工技术体系,为明晰未来发展中技术基础研究的重要意义,以及新一轮工业革命中高能束流加工技术的发展趋势及拓展应用,本刊记者对中航工业北京航空制造工程研究所关桥院士进行了专访。




### 关桥

1959年毕业于莫斯科包曼高等工学院,1963年获博士学位。航空制造工程/焊接专业。现任中航工业北京航空制造工程研究所研究员、所科学技术委员会副主任。兼任北京航空航天大学教授、博士生导师,清华大学兼职教授;曾任中国焊接学会理事长、国际焊接学会(IIW)副主席。

作为学术带头人,他领导组建了“高能束流加工技术”重点实验室,并任学术委员会第一、二届主任,还领导建立了“航空连接技术”航空科技重点实验室和“中国搅拌摩擦焊接中心”。

1994年当选为中国工程院院士。是我国航空制造特种焊接/连接专业的学科带头人,飞行器制造工程中多项特种焊接/连接技术的开拓者。是“板壳结构低应力无变形焊接方法与装置”的发明人,在焊接力学领域有重要建树。他主持研究和开发的一系列科研成果在工程应用中取得显著技术经济效益;先后获国家发明奖二等奖1项,部级科学技术进步奖一等奖2项,二等奖4项。

: 您主持完成众多科研课题,您认为基础研究对引领技术发展有何重要作用?高能束流加工技术体系还需加强哪些方面的基础研究?

**关桥:**虽然我们已建立比较完整的高能束流加工技术体系和相应的装备,如把激光、电子束用于焊接、制孔、强化、涂层表面改性与毛化、增材制造等;但是,如果没有扎实的技术基础研究,就不可能有可持续的创新发展;否则,由于只“知其然”,而不“知其所以然”,有朝一日眼前的“成果”、“成就”中就有可能呈现出发生事故的“瑕疵”。提升高能束流加工的品质、可靠性、结构完整性,将是当前和今后基础研究必须重视、加强和实施的目标。建立了高能束流加工技术体系,我们拥有了手段,“知其然”并不难,但真正作到“知其所以然”正是建立重点实验室努力的方向。

多年来高能束流加工技术重点实验室为航空新型号研发作出了贡献,如采用电子束焊接制造了诸多大厚度钛合金重要承力结构;但无论是设计、制造,还是选材、使用,各方面都非常关注这类重要焊接结构服役的安全和寿命问题。若选用高强材料,其韧性低、焊接性差;若增大设计安全系数,则增加结构重量,加工周期长,制造经济性变差;焊接对基体材料的损伤多大,对缺陷的容限几何?现行的制造工艺规范和流程以及质量检测标准是否科学?显然,这一系列的问题必须由多学科交叉综合性基础研究才能作出判断,也是焊接结构完整性的内涵;应该以基础研究来指导优化设计—正确选材—合理制造。

针对上述问题,为能科学评定结构完整性,我们组成科研团队(由航空制造所、北京工业大学、清华大学组成),申请了焊接学科领域的第一个国家自然科学基金重点项目:“大厚

度钛合金结构电子束焊接制造基础研究”。经过4年努力,专家组对项目结题,综合评价等级为A级。该研究项目的研究成果与创新点主要有:

(1)对电子束焊接在大厚度钛合金重要承力结构制造中带来的焊接接头组织和力学不均匀性的影响进行了深入量化分析,研发了有效调控方法,优化接头性能,并已在新型飞行器研制中应用,保障了重大工程研发成功。

(2)用数值分析和试验测试研究了焊接残余应力的特殊形成机理和分布规律,以及热处理、切削加工后的残余应力对结构服役的影响,给出了优化制造工程的建议。


(3)研究分析焊接接头塑性损伤与断裂机理,构建了损伤本构方程,揭示了损伤演变规律,为建立工程失效评定图奠定了基础。

(4)通过系统的试验研究,揭示了动载荷疲劳微裂纹萌生、扩展与聚合的规律,微裂纹的萌生在疲劳全寿命周期中起决定性作用。

(5)综合上述研究成果,构筑了大厚度钛合金电子束焊接结构完整性评定方法,编制了“指南”;推荐以“适用性”原则指导优化设计/正确选材/合理制造;可进一步对飞行器结构减重,降低制造成本,提升其经济性,避免现有设计的保守性;在结构的安全性与经济性的权衡中做出正确抉择,具有重要理论意义和工程实用价值。

这仅是在高能束流加工技术重点实验室开展技术基础研究的一个范例,在日常研究工作或型号攻关任务中,技术基础研究工作应该而且值得重视在每个课题中均能提炼出若干具有共性的问题,如:束源品质的提升与前沿创新发展;束流与材料交互作用中的超常热物理现象;高能束流制造结构对基体材料的损伤以及结构完整性等。学会并善于在工程实践中凝炼出科学疑难问题,提

升为研究课题,深入研究加以解决,再用以指导实践;这才是基础研究的真谛,也是锻炼科研人才的途径,更是考核优秀科技工作者能否脱颖而出的标准。

: 您认为高能束流加工技术的发展趋势是怎样的?在技术推广应用中要重点解决哪些难题?

**关桥:**20年前我们曾预测,“高能束流焊接/加工技术”与“固相连接技术”在“航空特种焊接/连接技术体系”中是创新发展的前沿主流方向,并论证了高能束流加工技术的地位与使命。

“高能束流焊接/加工技术”重点实验室成立的20多年间,激光、电子束、等离子、离子束等新技术发展很快,而用于新材料的加工和新型结构制造的新方法、新领域甚至新兴产业,更是如雨后春笋般涌现着,如:几乎是与国外同步研发的高能束流增材制造,包括:电子束熔丝逐层堆积成形增材制造技术、激光铺粉选区逐层熔敷成形增材制造技术等,就是极好例证。这些创新已经把科研运行发展模式从“型号需求牵引”向“创新驱动发展”转变!也正是20多年前我们建立重点实验室时的初衷。这些创新发展不仅解决着航空制造工程和新型号研制中“特需”和“关键”的技术难题,还为飞行器新结构设计提供了更多创新思维的空间并注入新的结构理念,实践创新驱动“牵引型号”发展。

我们必须把握前沿,随着高能束源(尤其是激光、电子束)不断有新的突破并应用于加工领域,在束源装备更新提升的同时,注重加工与制造技术的智能化发展的大趋势,运用高品质的新型激光技术、高精多功能的新型电子束技术,开拓精细、微纳加工,超常、超薄、超厚等极限制造。高能束流加工技术正在以创新驱动强劲发展的态势迎接新的工业革命。

(责编 小城)