

电火花加工技术助力航空 解决制造难题

EDM Boost Aviation Solve Manufacturing Problems

北京市电加工研究所 伏金娟

随着我国航空工业的发展,难加工材料、复杂型面零件的应用越来越广泛。这些零件强度高、耐高温、耐腐蚀,能够适应恶劣工作条件并显著改善整机性能是航空动力装置的最关键组成部分,但这类零件的材料粘性大、硬度高,空间形状异常复杂,切削加工难度大,已成为制造的“瓶颈”。

电火花加工是一种非接触加工,特别适于传统机械加工难以胜任的高熔点、高韧性、硬脆性材料的加工,而五轴联动数控加工则能完成非常复杂的空间轨迹运动,能够灵活地解决复杂曲面加工中的刀具让位和干涉问题。

因此,集合两者优点的五轴联动数控电火花加工一直被国内外公认为难加工材料、复杂曲面零件制造最佳解决方案。

在国家科技重大专项和 863 计划的支持下,结合国家重大需求,北京市电加工研究所开展了五轴联动精密数控电火花加工技术及装备项目的研究,不仅攻克了五轴联动精密数控电火花加工技术及装备的多项关键技术,还自主研制出了工程系列化的五轴联动精密数控电火花加工机床。

关键技术成果

1 五轴联动电火花加工专用数控系统

具有自主知识产权的五轴联动电火花加工专用数控系统能够实现复杂空间曲面零件的精密数控电火花加工。

电火花加工专用数控系统是五轴联动电火花机床最核心的部分,它不仅要实现对各功能部件的运动控制,还要实现对放电参数和伺服系统的有效控制,对于多轴联动控制系统,每增加一个轴,参数成几何增长,控制参数多而复杂;同时,由于电火花加工自身的特点,刀具(电极)除

了作正向进给运动还要按原轨迹作反向回退运动及扩大尺寸的摇动运动,算法复杂,实时性要求高,还要克服自身产生的强大电磁干扰等因素。

2 电火花加工脉冲电源及其控制系统

高效精准电火花加工脉冲电源及其控制系统实现了难加工材料的高效、高精度、高表面质量加工。

电火花加工的能量由脉冲电源提供,如果说数控系统是机床的“大脑”,那么脉冲电源就是机床的“心脏”,每个电路设计的微小细节都与加工工艺和加工质量息息相关。要实现高效精准的加工,脉冲电源必须实现精确的放电能量控制,必须在有



图1 $\phi 40\text{mm}$ 直径镜面加工照片

效克服各放电回路附带的寄生回路和产生的强电磁干扰同时又保证高效的蚀除速度。图1为 $\phi 40\text{mm}$ （面积为 1256mm^2 ）的镜面加工照片，最佳表面粗糙度 $R_a \leq 0.10\mu\text{m}$ ，并实现了批量的稳定加工。

3 复杂曲面零件五轴联动精密电火花加工工艺技术

采用完全自主国产设备实现以整体带冠涡轮盘、整体闭式叶轮、机匣为代表的多种复杂曲面零件精密加工，突破了这类零件的制造“瓶颈”，满足国防军工、大型民用设备生产急需。

这类零件的电火花加工难点有：

- (1) 结构复杂，难以用数学描述；
- (2) 尺寸精度高、形位公差小，单靠人工计算很难实现复杂的电极设计和运动轨迹优化；
- (3) 计算量之大难以用人工进行编程。

针对这类零件的加工技术要求，使用紫铜制作电极，我们开发出了正电极、斜电极加工工艺技术、左右电极加工加工技术，成功解决叶片加工时的干涉问题、完整性问题，杜绝了接痕现象，保证了叶型加工精度及涡轮盘叶底径圆和叶顶径圆的圆度，实现了叶片重心与涡轮盘中心的一致性。叶形加工精度 $\leq 0.03\text{mm}$ ，加工效率比国外设备提高20%，节省电极量30%，实现了国家重大项目关键部件的完全自主制造。图2是利用五轴联动精密电火花加工工艺技术加工的单级带冠整体涡轮盘。

五轴联动精密数控电火花加工机床

基于以上研究创新成果，成功开发出5种规格的五轴联动精密数控电火花加工系列机床，N850、AA50（图3）是其中两种规格的五轴联动精密数控电火花加工机床。

经国家机床质量监督检验中心和中国计量科学研究院检测，其主要



图2 单级带冠整体涡轮盘

技术参数均达到或超过国际同类产品指标。由中国机械工业联合会组织、徐性初院士任主任的鉴定委员会认为该项目攻克了精密数控电火花加工脉冲电源、五轴联动数控技术、电极快换技术、精度补偿和可靠性等

具有自主知识产权的核心技术，主要技术指标达到国际先进水平，为国内军工行业打破国际垄断，填补了国内空白，具有良好的经济和社会效益。该系列机床在设备精度、系统稳定性、操作方便性等很多方面该系列机床都全面优于进口设备，让用户第一次感受到国产设备的优越。

凭借该项目的研究成果，2011年北京市电加工研究所荣获了中国机械工业科学技术一等奖。

航空航天产业对数控机床，特别是高速、高效、高精度、多轴联动的高端数控机床的需求千变万化，为此，将做好自己的核心技术，做好产品过程质量控制，保证产品零件从加工到装配都经过严格的检验，以适应航空领域的需求提升和变化。用电火花加工新技术助力航空产业，解决制造难题，为中国制造不断积累，为中国创造持续贡献。（责编 深蓝）



图3 AA50机床