的技术体系。

（2）国产数控机床向高速、高效、集成和智能发展。切削机床技术发展的最大标志就是高速切削机床（High Speed Cutting，HSC）的发展，如用于飞机零件高效机床的龙门式高速机床和桥式高速铣床主轴转速可达20 000～40 000 r/min（最高可达100 000 r/min 以上），进给速度可达20～40 m/min（最高可达80 m/min）。应用高速机床技术，尤其是新型高速电主轴和新型控制系统的多龙门多主轴高速机床的使用，在大型飞机零件如机翼壁板类、框类及细长类零件（如长桁、梁、缘条类零件）的加工中有效提高了机床的利用率和机床效率。

（3）先进的刀具技术促进国产机床技术发展。随着难加工材料的不断涌现，“高韧性高强度基体+高硬度高耐磨性刃部”刀具应运而生，新型陶瓷、细晶粒硬质合金、超细晶粒硬质合金、TiC/TiN基金属陶瓷及涂层硬质合金等材料的应用将推动国产机床技术发展。

（4）虚拟制造和仿真技术促进国产数控机床发展。在虚拟制造中，基于弹塑性力学、断裂力学、摩擦学、传热学和材料学的切削机床数值模拟技术是一种强有力的工具。随着航空结构件的复杂程度越来越高，数控机床仿真技术是一种快捷有效的数控程序检验途径。

采用Vericut软件，实现国产数控机床仿真，实现“一次做好，缺陷为零”的产品质量控制目标，如图3所示。

用产品需求引导国产数控机床发展，用国产数控机床促进航空制造业发展是一条强国、强军的有效途径。

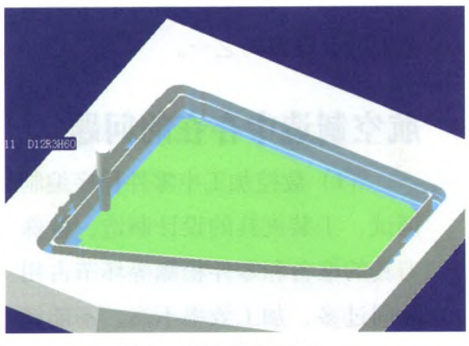


图3　3D仿真效果图

航空制造业特点及技术发展对航空企业的影响

中航工业导弹院凯迈机电公司　刘仁春　薛朋余　严世宝　袁　健



技术科技术主管　刘仁春

航空产品的制造特点和难点

（1）航空产品的制造特点。①产品高性能和精密化。航空产品因为使用环境特殊，产品性能要求和可靠性要求高，产品在加工时使用钛合金、复合材料等特殊材料较为普遍。同时，多数航空零件几何外形复杂制造加工精度要求更高，测量要求也较高。②产品轻量化和大型化。航空产品如发动机压缩机转子、飞机发动机叶片、飞机的整体舱段、起落架、机匣及天线罩大量使用钛合金、高强度材料和高温合金等；同时在飞机机身、机翼上也广泛使用复合材料。这些材料使用在航空设计中要求飞行器既要有高强度同时零部件又必须质量轻。机翼壁板、梁、叶盘及发动机壳体要求整体结构加工，减少了不必要联接，增加了零件的整体刚性。这种零件大型化结构要求是大型飞行器和宇航工业零件设计和制造的需求。③产品数字化和制造过程的智能化。航空产品零部件数字化设计及制造，逐渐应用CAPP和CAD/CAM软件，如西门子公司Teamcenter三维工艺软件的应用；柔性制造FMS技术的应用；基于数控加工工厂的数字化车间管理系统MES的应用；柔性工装和自动化装配线及设备的应用。

（2）航空产品的制造加工难点。①难加工材料切削应用：航空零部件常采用钛合金、高温合金及复合材料等难加工材料。如何保证零件的加工具有较高的质量又兼顾生产效率，是航空制造企业面临的一个课题。②工艺及零件精度要求：航空、航天零部大都采用复杂曲面和高结构效率的整体、轻量化结构，加工中要求无切削变形和高

效，这对制造工艺以及制造设备提出了更高的要求。③过程控制及检测要求：零件加工过程控制是对其满足设计尺寸特性要求而进行的一些检测，检测的结果用来验证在制造中结果反映与设计要求相符的一致性。而现在航空企业对工艺过程控制、零件表面完整性控制等环节比较薄弱。今后这方面是航空制造企业的改进方向之一。

航空制造中存在的问题

（1）数控加工中零件程序编制调试、工装夹具的设计制造、特殊刀具的准备和零件检测等环节占用时间过多，加工效率不高，不能满足航空企业制造的需求。

（2）数控加工设备中所用的刀具无法满足加工的高质量、高效率的零件加工需求。实际生产中国产普通刀具使用存在切削效率低、刀具使用寿命低等问题。尤其遇到难加工材料时，使用这些刀具会严重地影响产品尺寸的一致性和外观质量。刀具的选择以及刀具与数控机床的配合使用是企业面临的突出难题。

（3）航空企业一般是小批量、多批次的生产模式，这是为了适应航空用户个性化的需求。

航空企业的应用策略

（1）企业根据发展需要添置加工设备。

为满足客户个性化需求，近年来，生产中采取小批量、多样化模式生产。企业的加工设备以进口、合资设备为主，主要有国际上多个先进国家和外国合资企业的中端设备。基于公司生产制造的零件需要，主要以三轴和四轴高速加工中心设备为主，可以满足公司目前零件加工的需要。图1、图2是我公司的加工中心设备照片。

（2）在企业推行实施先进制造技术。

航空企业应积极推进国家关于产业结构调整和加快发展方式转变的战略决策和方针。增强企业在新产品研制中依靠工艺创新谋发展的创新意识，企业技术主管部门结合技术改造，应用并行工程、精益生产、6δ管理、柔性制造FMS、智能化制造技术和智能化工厂、应用工艺CAPP和CAD/CAM软件、数字化设计及制造等先进制造技术，创新生产制造工艺确保航空高新产品开发和产业化。推动建立航空产品研制生产管理用的车间数字化EMS技术、企业网络化管理技术及系统也必须与新产品研制同时进行。用以提高生产管理计划性和协调性。例如我公司在新产品试制的过程中就大量使用了上述先进制造技术。公司研发产品典型代表有高原用可移动发动机测试台架系统。

国内外机床工具的差距

国内外的机床工具目前还具有一定的差距，航空企业一般会根据其具体需求进行选择。具体体现在以下几方面。

（1）机床：①机床的精度保持性总体上低于国外设备。②数控机床的控制软件研发和应用与国外还有不小的差距。③国外在柔性制造技术应用和机床制造理念方面较国内企业先进。

（2）刀具：①国外刀具企业在设计和研发新刀具和发展新的切削方法及理论方面具备优势。②国外企业刀具材料和刀具结构设计较国内企业先进。③国外刀具企业产品加工效率和刀具使用寿命整体优于国内企业。

结语

在总结现代航空产品的制造特点和难点的基础上，综述现代航空产品的制造特点分析现代航空制造业对工艺、设备的需求，给出公司应对现代航空制造新要求策略和方法。希望本文可以给航空制造业的同行起到借鉴和帮助。



图1　马扎克（小巨人）立式加工中心



图2　哈斯卧式加工中心