

数控加工技术在大飞机研制生产中的应用

Application of Numerical Control Machining Technology
in Large Commercial Jet Development and Production

西安飞机工业(集团)有限责任公司 王俊斌



王俊斌

西飞国际数控技术科科长,高级工程师。长期从事数控加工工艺编程和技术研发等工作,参与和组织完成多个型号的关键零件研制任务和数控加工关键技术研究任务,完成的科研项目多次荣获西飞集团公司和西飞国际技术创新奖。

数控加工技术以其效率高、质量好、稳定性强等优点得到了制造企业的广泛青睐,近年来随着国内外数控工艺装备和数控工艺技术的快速发展,数控加工技术得到了广泛普及应用,尤其在飞机机体零部件的制造中发挥着举足轻重的作用。我国大型

近年来随着国内外数控工艺装备和数控工艺技术的快速发展,数控加工技术得到了大力的普及应用,尤其在飞机机体零部件的制造中发挥着举足轻重的作用。

飞机项目的立项对飞机机体制造企业和装备制造企业来说既是难得的历史机遇,也是圆国人大飞机梦想的历史性挑战,本文就数控切削加工技术在大飞机研制中的应用进行初步的探讨。

大飞机数控加工的技术需求

1 典型零件的数控加工工艺技术

大飞机零件具有外廓尺寸大、结构复杂、重量轻的特点,在多个对接部位或活动面处有精度要求较高的多面体接头类零件。同时,随着新型材料技术的不断发展和飞机整体强度重量比设计要求的不断提高,复合材料在大飞机中的用量也越来越大。大飞机零件的这些特点对数控加工工艺技术提出了一系列新的要求。

典型的整体零件包括机翼蒙皮壁板、机身蒙皮壁板、机翼大梁、翼肋等,此类零件一般选用 2000 系列或 7000 系列铝合金预拉伸板材,部分翼肋零件采用铝合金型材类原材料,

零件除外廓尺寸大以外,还呈现多槽腔、单侧或双侧理论外形等的结构特点。壁板类零件一般带有单侧飞机理论外形、单侧结构,加工过程中需进行喷丸或滚弯成形。大梁和肋等零件一般为双侧理论外形、单侧或双侧结构,零件结构由数控加工直接完成。该类零件除部分双面结构的翼肋外,其余均为单侧结构,加工过程中材料基本为单侧去除,且材料去除率大。因此,大型整体零件的数控加工必须同时考虑复杂结构的五坐标加工技术、高速高效加工技术和数控加工变形控制等技术的综合应用。

典型的接头类零件包括主起落架支撑接头、扰流板铰链接头以及机翼与机身的对接接头等,此类零件一般采用 7000 系列模锻或自由锻铝合金材料,零件高度尺寸大、槽腔深、空间孔的精度和位置度要求较高。此类零件的加工难度主要在于加工变形控制、深槽腔转角表面质量控制和空间精度孔的数字化加工,而对于自

由锻毛料的零件来说,材料去除率也是需要考的因素。因此,复杂接头类零件需制定合理的工艺流程,同时注重转角插铣技术、数控镗铣复合加工等技术的综合应用。

碳纤维等复合材料技术的工业化应用,为大飞机的设计制造带来了一片新天地,复合材料以其高耐腐蚀性和耐疲劳性等优点,在大飞机的结构中应用越来越广泛,如B787飞机的复合材料占整机结构重量的50%,已经彻底地由辅助材料变为主导材料。复合材料的加工除铺带技术和缠绕技术外,数控切边和数控钻孔等加工技术也不可或缺,尤其是大型整体复材构件的数控加工,其难点主要在于材料本身低的热传导性和定位夹紧的特殊性,因此,复合材料的数控加工主要体现在数控刀具及其应用技术和工装的设计制造技术上。

2 高速加工技术

大飞机数控加工工艺技术的实现,必须依赖于满足使用要求的先进数控设备和高质量的数控刀具,换言之,就是数控设备必须具有大行程、高转速、高进给、高精度和五轴联动等特点;数控刀具必须满足高动平衡等级、高刚性、良好的耐磨性和红硬性等技术要求,刀具接口技术也必须满足高速使用的技术要求。

高速加工技术的成功应用是数控加工技术发展过程中的一次革命,其特点是当切削速度超过一定的临界速度时,切削力随着速度的增加而减小,同时95%以上的切削热被高速飞出的切屑所带走,因此,高速加工对提高切削效率、抑制加工变形和提高表面加工质量具有无可比拟的优势。同时,因其对加工变形控制的有利作用,也极大地简化了工艺流程,更进一步降低了零件的加工周期。大型、整体飞机结构件对数控加工的技术需求主要体现在较小的加工变形和符合设计要求的表面质量方面,同时从降低加工成本的角度考

虑还必须要求较高的材料去除率。因此,高速加工技术是突破大飞机关键零件研制技术瓶颈的有效途径,对降低大型零件的制造成本具有十分重要的意义。

3 数控加工的集成应用技术

经济性是大飞机的重要指标之一,由于数控设备造价昂贵,大飞机的零组件制造必须实现数控加工的集成化应用,才能充分发挥数控设备和数控工艺技术的优势,降低制造成本。CAD/CAPP/CAM集成系统、MES系统、ERP系统、DNC技术等



用于梁间肋等零件加工的五坐标龙门铣床

现代先进制造系统和技术在飞机制造过程中的应用,将极大地降低机体制造成本,对飞机的经济性指标起着至关重要的作用。

国内外飞机数控加工技术及设备的现状和发展趋势

1 发达国家飞机数控加工技术现状

西方工业发达国家飞机制造业应用数控技术始于20世纪60年代,经过长期的技术发展和积累,应用于大飞机结构件的40m五坐标高速龙门铣床、20m五坐标高速翻板铣床等先进设备在技术上已较成熟,新型数控刀具技术的研究应用也处于良性

循环状态,这促进了数控加工技术水平的不断提高。以波音公司和空客公司为代表的飞机制造企业已基本实现了机加数控化,并广泛地采用了3C集成系统和DNC技术,同时,柔性生产单元和柔性生产线的应用也较为普遍,高速切削加工技术应用水平较高,基本实现了自动化、高效率数控加工。

2 国内飞机数控加工技术现状及发展趋势

我国飞机制造业的数控技术起步较晚,近年来在型号研制任务的推

动和国家政策的支持下,国内飞机数控加工技术的研究和应用水平得到了提升。目前,国内的各大飞机制造企业均已形成了各自的技术特色,如成飞的铝合金结构件高速加工技术、西飞的大型铝合金结构件数控加工技术、沈飞的钛合金结构件数控加工技术等。同时,柔性生产等先进制造技术也陆续得到了应用,逐步摆脱了单纯发展数控加工工艺技术的“孤岛”状态。

虽然国内数控加工技术得到了快速的发展,但飞机数控加工技术的整体应用水平与发达国家相比仍存在着较大的差距,主要体现在:(1)

高档数控设备主要依赖进口,受进口设备价格昂贵以及关键技术封锁等因素的影响,飞机零件制造的数控化率较低,在一定程度上制约了飞机数控加工技术的普及和发展;(2)高质量的数控刀具近年来虽然也得到了快速发展,但在高质量数控刀具的制造和新型刀具的研发等方面仍存在差距,使用上仍然未摆脱进口刀具占



用于ARJ21外翼前梁加工的五坐标龙门铣床

据半壁江山的局面,这在一定程度上也影响了数控加工技术的进一步提高;(3)3C集成、DNC、MES等先进制造系统和技术的应用起步较晚,在飞机制造业中仍然没有建成真正意义上的自动化工厂,数控车间管理较为粗放,制约了飞机数控加工技术的集成应用;(4)受国内飞机批量的制约,飞机制造企业没有一个专业化的数控加工车间,也较少采用专用化程度较高的高端数控设备,生产组织和生产准备等工作量较大,增加了数控加工集成应用技术实现的难度,制约了飞机数控加工技术向更高层次的发展;(5)飞机零件数控加工切削参数库建设仍停留在研究层面,除部分专用化程度相对较高的设备和关键产品以外,大量实际加工使用的切削参数均有较大的优化空间,而国内在参数优化技术及优化工具方面的研究应用成果甚微,制约了数控加工应用水平的提高;(6)在飞机数控零件设计技术、数控零件检测技术等

方面缺乏系统的研究应用,影响了数控技术应用过程中的效率,制约了数控加工技术的发展;(7)数控设备维修技术水平存在一定差距,数控设备的带故障运行和故障后无法及时修复等因素,也在一定程度上影响了飞机数控加工技术的发展。

综上所述,国内除了在数控设备关键技术、数控刀具关键技术等方面应加大研发力度以支持我国的大飞机制造以外,在飞机结构件设计标准化、切削参数库优化技术、零件检测技术、数控设备维修技术等方面也需要大力开展研究应用工作,同时普及数控加工集成应用技术,不断提高数控车间的数字化管理应用水平,加快缩短与发达国家技术水平差距的步伐,满足大飞机研制生产的技术需求。

飞机数控加工技术及设备的应用情况

国外飞机数控加工技术的高水平应用,使其大飞机的研制生产基本不存在技术瓶颈,而高速加工技术和先进制造系统的集成应用也极大地降低了飞机制造成本。如空客英国的BROTON公司采用双主轴、高速加工技术完成了A319飞机机翼8.8m的中后梁零件,加工过程中使用了INGERSOLL公司的大型五坐标翻板铣床,主轴平均使用转速30000r/min,零件加工只需一次装夹,单件零件的数控加工仅需22h;MILT公司建成的机翼梁间肋零件自动化加工车间,由ECOSPEED公司的虚拟轴加工中心等10台主轴转速在24000~40000r/min的高速

数控铣床、5台机械手、传送带和数控测量机等组成的柔性生产线,实现了在制品周转、工装刀具准备等的完全自动化,提高了产品的加工效率。

国内数控加工技术因受诸多因素的影响,应用层次参差不齐,如西飞国际数控加工中心承担的B737-700垂尾T形缘条,零件长7.6m,加工使用设备为CINCINNATI公司的40m五坐标高速龙门数控铣床,主轴最高转速24000r/min,实际使用转速平均20000r/min,零件装夹采用自动液压夹具,单件零件的数控加工仅需4h。该数控加工中心承担的ARJ21飞机外翼前梁,零件长13m,加工使用设备为FORESTLINE公司的五坐标龙门数控铣床,设备最高转速10000r/min,实际使用转速9000r/min,因为加工变形控制的需要,零件加工需要进行4次装夹,装夹采用真空吸附和内六方螺栓辅助压紧的方式,该零件加工的尺寸精度、表面质量和加工变形量均满足设计要求,但是其加工效率却较B737-700垂尾缘条的加工效率低得多,单件零件的数控加工需要200多h。

结束语

大飞机的研制受到举国上下的关注,国内航空制造企业的数控加工技术近年来虽然在典型零件加工工艺技术、高速加工技术应用等方面取得了较大的发展,同时3C集成、DNC技术和MES技术等也得到了初步应用,但要实现大飞机的研制生产,还需在数控设备和数控刀具关键技术、数控零件设计标准化、切削参数优化技术、数控零件检测技术、数控设备维修技术等方面加大研发和应用的力度,在高速加工技术和数控加工集成应用技术等方面开展更进一步的研究应用,以提升我国飞机数控加工技术的整体水平。

(责编 微凉)