

高效切削利器助推飞机 结构件加工技术发展

High-Efficiency Cutting Tool Promoting Development of Aircraft
Component Processing

西安飞机工业集团有限责任公司 周文东



周文东

西飞数控中心技术主任,从事飞机结构件数控工艺编程和技术管理工作,多次参与国家重点型号的研制。

西安飞机工业集团有限责任公司(以下简称西飞)是中国大中型民用飞机的重要研制基地,不仅承担着国内大型飞机整机或部件的研制生产任务,还承揽了波音737-700飞机垂尾和空客A319飞机翼盒等国际转包项目。西飞数控中心是西飞大型复杂结构件的专业生产厂,加工的主要产品有:机翼大梁、壁板、梁间肋、框、大型支撑接头和对接接头,产品材料多为2000系列和

目前国内在切削刀具的全寿命监控和管理方面刚刚处于起步阶段,在未来一定时期内,自行设计、制造和使用好高效切削工具,促进我国早日实现从制造大国向创造大国的飞跃,无论对于中国的切削工具制造业还是航空制造业,都是必须面对和尽快解决的问题。

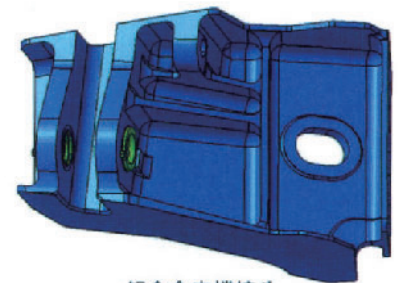
7000系列超硬铝合金,也有少量的TC4、TC6钛合金和30CrMnSiA、300M的高强度结构钢,毛坯类型主要是预拉伸板材和自由锻件。

西飞数控中心加工的航空结构件除具有槽腔多、壁厚薄、精度高,需要满足飞机变斜角理论曲面等飞机机翼结构件的通常特性以外,还具有零件轮廓尺寸大、槽腔深和基准平面轮廓度要求严等特性。由于原材料通常去除率达到了90%~95%,最高的达到了97%,且槽腔深度多为80mm左右,最深的达到了200mm以上,切削刀具悬伸量大、刚性差,这些均极易导致出现零件切削周期长、表面质量不好、加工变形量大、加工效率低等问题,这对飞机结构件数控加工工艺技术和高效切削工装工具提出了更高的要求。

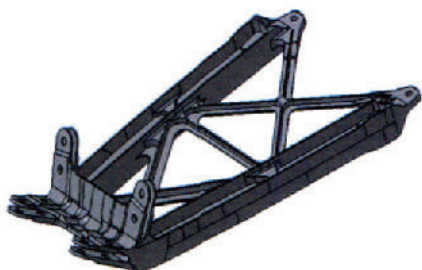
飞机机翼大梁、壁板和梁间肋零件原材料为Cs状态的超硬铝合金,由于铝合金强度(超硬铝合金Cs

状态) σ_b 为0.48MPa、布氏硬度为156HBS、延伸率 δ_s 为5%、热导率1000℃为142W/(m·k),强度和硬度较低、塑性较小,对刀具磨损小,且由于热导率比铜合金高一些,使切削温度更低,加之超硬铝合金由于生成脆性化合物 $CuAl_2$ 分布于固溶体晶粒界面上,使韧性和塑性降低,故具有良好的切削加工性能。所以铝合金机翼大梁、壁板和梁间肋非常适合高速切削。

铝合金大型支撑接头和对接接头毛坯为自由锻件或模锻件,原材料为退火状态,主要加工工艺流程为粗



铝合金支撑接头



铝合金对接接头

加工、强化热处理和精加工。由于铝合金熔点较低,温度升高后塑性增大,在高温高压作用下,切屑界面摩擦很大,容易粘刀形成积屑瘤,特别是退火状态的铝合金不易获得好的表面质量。加之这类接头多为深槽腔、高耳片结构,切削刀具悬伸量大、刚性差,极易产生颤动,切削效率也很低。

由于钛合金比强度(抗拉强度与密度之比)高达 23 ~ 29,且在 300℃ ~ 500℃ 时仍能保持高比强度,对碱、酸等介质有良好的抗蚀性能。目前,钛合金材料在飞机结构中所占的比重越来越大,特殊关键部位的轮廓尺寸大于 1000mm 的大型承力框、大于 400mm 的大型对接接头也越来越多地采用钛合金材料。但由于



钛合金对接接头

钛合金与氧、氮、氢、碳易产生化学反应,形成硬度高或脆性大的表层,且导热性差(45# 钢的 1/5 ~ 1/7),造成切削加工钛合金零件时,切削刃负载重、切削温度高、刀具磨损严重。

国内航空制造业经过多年的积累,特别是通过国家“九五”、“十五”和近年专项的技术改造,先后从欧洲、美国和日本引进了大量的高精尖数控加工设备,这些数控设备具有转

速高、功率大、移动速度快、精度及精度保持性高等特点,缓解了飞机结构件制造设备能力长期不足的被动局面。但随之暴露出了加工工艺技术落后,工艺装备特别是刀柄、刀具性能低、质量差的问题,严重制约了数控设备效能的正常发挥。为此,2000 年以来,各航空制造厂通过技术总结和学习引进,特别是通过采用高效切削工具,以高速高效切削为代表的数控切削加工技术得到了快速发展,产品表面加工质量和加工效率均有所提高,各种典型飞机结构件数控加工过程中长期存在的问题得到了初步解决。

新工艺、新刀具的推广应用

1 深槽腔的表面加工质量得到改善

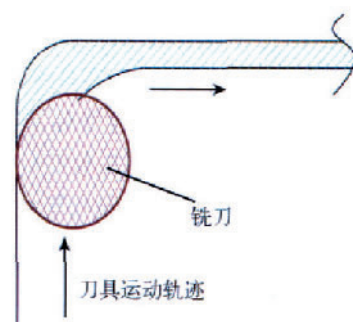
深槽腔是飞机大梁和接头的典型工艺结构特征,也是导致零件表面质量不好、局部啃刀、加工效率低的重要原因。当刀具由直边运行至槽腔转角处时,由于切削量的变化,会引起刀具载荷的大小和方向均发生极大的变化,造成刀具颤动,极易发生转角啃刀,导致零件表面质量和几何尺寸的超差,这种超差随着进给速度越来越快会变得越严重,随着槽腔深度越深也越容易发生。这一难题通过几年前采用插铣新工艺和插铣刀等新式刀具得到了解决,例如对半径较小的转角结构,利用多层行切、铅笔头形铣刀和五坐标编程等方法取得了很好的加工效果。此项新工艺和新刀具的应用,不但解决了槽腔转角易超差的技术难题,同时也解决了加工效率低的问题,经过测算和现场数据的统计分析,飞机大梁和接头类零件的数控机床切削周期缩短了 10% 以上。

2 单位时间的材料去除率和加工面积大幅度提高

粗加工是大量去除切削余量的

工艺环节,半精加工和精加工工艺环节主要是通过刀具切削达到工艺要求的几何尺寸精度和表面质量的工艺环节。针对不同的工艺环节,除尽可能充分利用主轴输出功率外,高速高效技术在新工艺、新刀具上还有不同的侧重点。

粗加工时,在机床转速足够高、输出功率足够大的条件下,采用波纹齿铣刀可减少切削刃与材料的接触长度,降低刀具切削载荷,通过提高每齿进给量,从而提高材料切削去



转角切削加工

除率;采用大直径端铣刀,结合坡走下刀、螺旋线下刀编程、转角插铣等技术,通过加大刀具径向切削量 a_r ,达到提高材料去除率的目的;采用整体式铣刀选用轴向大切深、且轴向切削力小的菱形硬质合金刀片,结合层优先对称加工编程策略和较高的机床转速,通过加大刀具轴向切削量 a_p ,在提高材料去除率方面也同样能取得很好的效果。

精加工时,在保证加工质量的前提下,主要是通过提高单位时间的切削面积得到高的加工效率。由于目前大量地使用预先平衡调试过的刀具系统、耐磨损的粉末冶金高速钢或硬质合金材料的刀具以及硬度高、耐磨性好的刀具涂层、更加可靠的 Big-plus BBT、HSK 的强力液压和热装式刀柄,使得刀具和刀柄、刀柄和机床的连接更加精确,刚性也更好,加工时,机床转速可以达到 20000 ~ 30000r/min,进给移动速度达到 10000mm/min 以上。

3 新式结构的刀具系统拓展了数控机床加工能力

飞机结构件例如支撑接头和对接接头,主要由槽腔、耳片、耳片上精度高并且直径较大的装配定位孔、外形轮廓等结构特征组成。传统的工艺方法是在数控铣床上加工槽腔、耳片、外形轮廓等结构后,加工转移到镗床上,利用专用的镗具装夹定位零件,从而最终加工出图纸要求的孔。而飞机的梁、框和梁间肋等结构件,在零件腹板一般设计有位置度要求较高并且直径较小的精度定位孔,在缘板上设计有用于装配连接用的铆钉位置初孔,在未采用U钻、超精钻和高速铰刀等新工具以前,这些孔一般都是采用数控机床钻初孔、利用钻模或钻孔样板装夹定位零件,在钻床上或手工钻孔铰孔的方法进行加工。



U钻钻头

然而以上的制孔方法,由于需要进行再次装夹,不但导致加工位置精度的降低,也因为增加了工艺流程,延长了零件的制造周期。由于在近几年引进了预调简单、操作可靠的数控机床用高精度镗刀,使得在一次装夹下完成精铣、镗孔的镗铣复合技术得以应用推广。这一技术的应用不但减少了新型飞机研制时对镗孔夹具的需求,节约了研制成本,而且大幅度地减少了零件的研制周期。同时,因为该类镗刀预调精确简单可靠,在零件批生产中依旧可保证极高的加工精度、稳定的产品质量和生产效率。

对于腹板和缘板上较小直径的孔,由于使用了U钻、超精钻和高速

铰刀等新式精度孔制孔工具,同时使用角度铣头,在三坐标数控机床或五坐标机床主轴摆动很小角度的状态下,就可完成这些部位精度孔和零件侧壁凹槽的加工。由于采用了新工具,数控制孔工艺技术得到了发展,使得在数控机床上通过一两次装夹就能够完成零件所有工艺结构的全部加工,这种工序集中、工种复合的加工技术已成为现代飞机结构件数控加工的发展方向。

4 加工变形控制和钛合金的高速切削技术得到了发展

在零件加工变形控制方面,除采用分层、对称去除余量、设计合理的走刀轨迹、选取合适的工艺切削参数等措施以外,在具有主轴内冷功能的数控机床上,利用刀具中心高压冷却方式,也是保证深槽腔加工时零件充分冷却,减少因切削热产生加工变形的有效方法。

在钛合金零件的切削加工方面,由于大量的选用钨钴类硬质合金材料的整体硬质合金刀具、整体硬质合金的钻头和铰刀、镶齿焊接刀具和可转位刀具代替传统的钻高速钢材料的刀具,使得刀具切削刃更加锋利,同时提高了切削刃的强度和抗崩损能力,加工钛合金时刀具的被严重磨损的情况有所减轻。采用合适的切宽 a_c 、切深 a_p 和进给量,通过提高切削速度,提高了钛合金零件的加工效率。由于采用了新刀具,切削钛合金的切削速度已由传统的20~30



波纹齿铣刀

m/min,提高至90~110m/min,飞机钛合金结构件的切削加工能力得到了大幅提升。

结束语

高效切削工具的引进和推广,助推了飞机结构件数控加工技术的又



铅笔头形铣刀

一次快速发展,缩短了我们与国外同行的技术差距。但目前国内使用的高精度刀柄、高性能的高速切削刀具、高精度的制孔工具等很大程度上依赖国外进口,采购周期长,购置费用高,而且刀具的高精度重复刃磨



整体式大直径端铣刀

和重复涂层无法得到保证,刀具重复利用率低。这些导致了目前国内飞机结构件制造过程中刀具成本居高不下,因交货不及时影响零件生产的现象也时有发生,在一定程度上制约了新刀具的使用和新技术的推广,因此,高效切削工具国产化需求日益迫切。同时,目前国内在切削刀具的全寿命监控和管理方面刚刚处于起步阶段,在未来一定时期内,自行设计、制造和使用好高效切削工具,促进我国早日实现从制造大国向创造大国的飞跃,无论对于中国的切削工具制造业还是航空制造业,都是必须面对和尽快解决的问题。(责编 微凉)