

板式五轴高速铣加工技术

Five – Axes High Speed Plate Milling Technology

中国汽车工程学会 陈长年



陈长年

中国汽车工程学会装备部部长、教授、高级工程师。曾获机电部科技进步二等奖、广西科技进步一等奖。发表报告、论文、专著百余篇。

现代飞机设计中广泛采用先进的整体结构设计,包括整体框、梁、肋、接头、壁板等复杂结构件。这类零件形状复杂,与飞机曲面外形、风道外形、翼身融合体外形等有关,零件内、外形角度变化较大。采用大型整体铝合金型材“掏空”的方法加工零件,切削量极大。如,波音公司在生产 F-15 和 F/A-18E/F 战斗机中,为使大型飞机零件更容易制造、

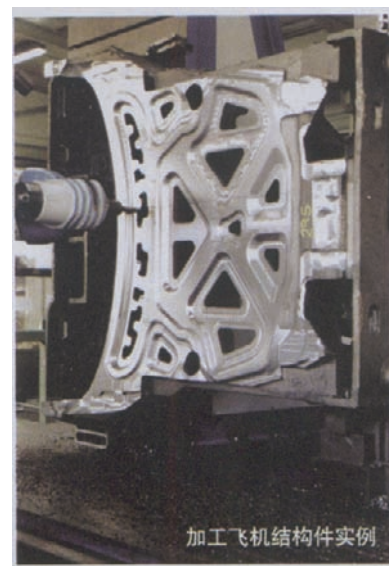
HVP (High Velocity Profiler) 式机床一反传统的立式主轴布局,采用卧式主轴布局,工件垂直安装在平板式工作台上,采用工作台固定、立柱移动、滑枕式主轴箱进给方式和“箱中箱”结构。HVP 机床采用高性能电主轴,功率 80 ~ 100kW,最高转速 40000r/min。生产效率比传统龙门铣提高 4 ~ 11 倍。

装配和维修,主要采用的是整块毛坯加工,金属去除率约 90%;以整体加工的零件代替装配在一起的多个零部件,飞机的零件数目减少了 42%。以 F-15 战斗机的零件为例,由一个整体零件代替了以前的 500 个零件,使原来的加工和装配等多道工序简化为一次加工完成,提高了生产效率,生产周期从 3 个月缩短到 2 个星期。

飞机结构件大多数是薄板类零件,上面有众多形状复杂的孔、空穴、沟槽和加强筋。其材料主要是高强度铝合金,毛坯是 60mm ~ 300mm 厚的铝板或铝锭,长度从短至 1m 以下至长达 30m。

飞机结构件的加工采用的传统工艺装备是数控龙门铣床(适用于超

长结构件加工,至今仍然是这类结构件加工最好的甚至是唯一的工艺装备)和数控立式铣床(适用于长度 2m 以下小型结构件加工)。现代加



加工飞机结构件实例

工飞机结构件的数控龙门铣和数控立式铣床大都为高速、5轴联动数控铣床。

近十几年来,国际上出现了4~10m中型结构件高效加工的新工艺装备。20世纪90年代,美国INGERSOLL公司广泛应用了立式安装工件、卧式加工的新工艺,其HVP(High Velocity Profiler)式机床一反传统的立式主轴布局,采用卧式主轴布局,工件垂直安装在平板式工作台上,采用工作台固定、立柱移动、滑枕式主轴箱进给方式和“箱中箱”结构。HVP机床采用高性能电主轴,功率80~100kW,最高转速40000r/min。生产效率比传统龙门铣提高4~11倍。如在加工机翼梁时,在传统龙门铣上需要50h,而在HVP上只需要5个多小时。高效来自高速和排屑容易。另一个应用INGERSOLL公司HVP机床高速加工飞机结构件的实例是,传统加工方式加工耗时5.5h,HVP机床高速加工时间为27min,提高加工效率11倍。

目前,这种主轴卧式加工、工件立式安装的机床,已经扩散到日本、德国、意大利和西班牙。西班牙DANOBAT公司用这种机床加工模具,使得这种机床加工范围大大扩展。在这些应用中,零件悬挂(垂直安装)于弯板夹具上,操作人员直接面对铣头加工部位,工作过程易于监测,又由于切屑直接落下而不会集聚在加工表面,因此可保证加工质量,而且其造价低于普通龙门铣。

美国INGERSOLL公司把上面这种机床称为五轴高速高功率卧式仿形铣床(High speed/High power 5-Axis CNC Horizontal Profiler);而日本SNK则称之为五轴高速仿形铣床(High speed 5-Axis Profiler)。参考国际名称,借鉴“平板电视”名称,故称其为“平板

式五轴高速铣床”,简称(板式高速铣),这将是铣床大家庭的新秀。将是继立式、卧式、龙门式、落地式铣床后,铣床大家庭最年青的成员。目前,我国几大主要飞机制造公司,已经引进多台这种机床。

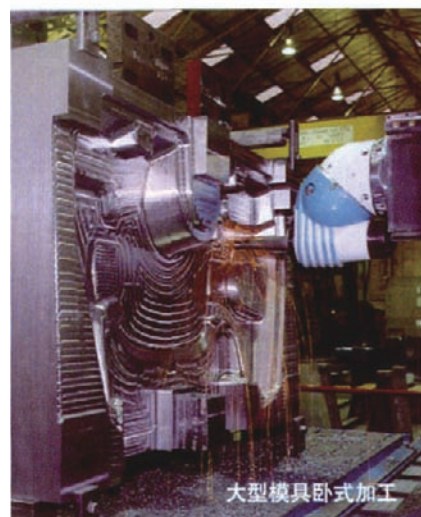
板式高速铣主要特点及关键技术

1 高速切削

整块毛坯加工,金属去除率约90%,只有高速切削,才能保证高生产效率。

零件常具有厚度极薄的壁和筋,刚度很差,只有高速切削才能对这些筋、壁进行加工。由于当切削速度达到一定值后,切削力可降低30%以上。尤其是径向切削力的大幅减少,特别有利于提高薄壁细筋件等刚性差零件的高速精密加工。

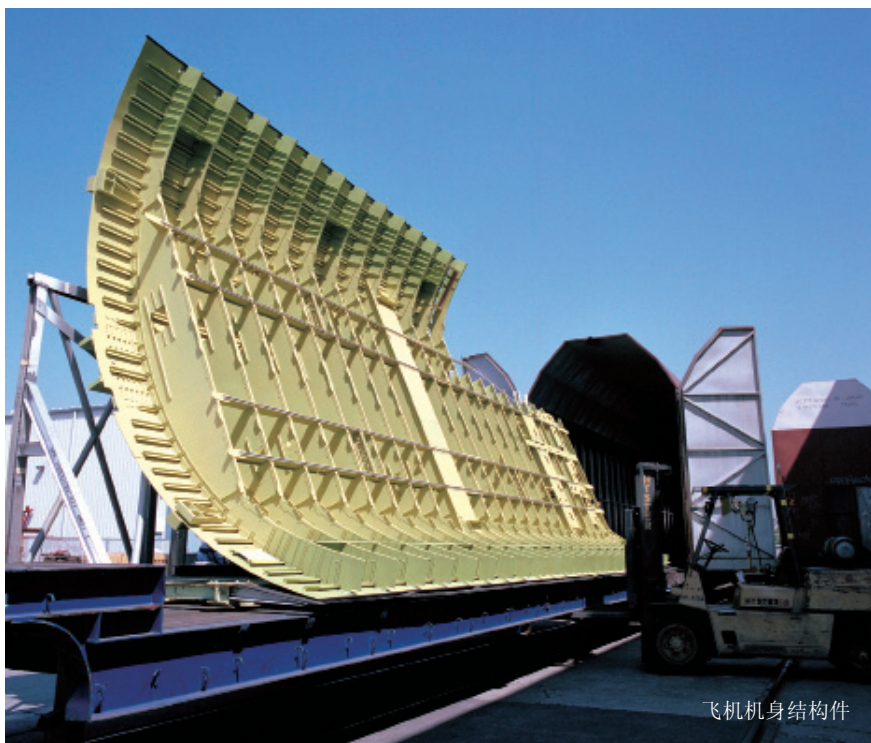
对于飞机用镍基合金和模具钢加工,切削力大、发热量大,容易硬化,刀具磨损严重,属于难加工材料。同时,结构上有些是薄壁件,加工中难以保证零件的尺寸精度和形位精度,传统采用很低的切削速度进



行加工,生产效率很低。如采用约为常规切速10倍左右的超高速切削(切削速度100~1000m/min),不但可大幅度提高生产效率,而且可有效地减少刀具磨损,提高零件的加工表面质量。

而要设计制造高速切削铣床,主要应具备以下技术:

- 大型机床整体高刚度、高可靠性设计制造技术;
- 高精高速大功率滑枕及主轴设计制造技术;
- 高速大功率双驱动技术:需要



在直线电机和滚珠(柱)丝杠 2 个方案中做性能 / 价格比优化选择;

- 五轴高速高精数控编程 / 优化工艺技术。

2 五轴联动

在飞机结构件设计中广泛采用三维 CAD 和有限元分析,使结构不断优化,材料性能获得充分利用,从而在提高结构件强度的同时,能明显降低重量。这必然导致结构形状复杂化,必须使用 5 轴联动的数控机床才能加工。

五轴联动数控铣床在航空工业得到最广泛的应用,如美、俄一家飞机制造公司就拥有几百台五轴联动数控铣床。

实现五轴联动技术的关键是双摆角高速大功率万能铣头。

双摆角高速大功率数控万能铣头,要求功率为 80 ~ 100kW,转速 18000/24000/32000r/min,并要求高精度和高性能。电主轴采用矢量控制技术,高速条件下要求扭矩 20



~ 40N·m。但是,高速大功率双摆角数控万能铣头技术研究目前国内尚未开展,需要自主创新。

市场分析

进入新世纪,我国航空机工业已经开始起飞。继汽车工业后,将成为我国国民经济的又一个热点,必将吸引国内外的关注。2008 年 5 月 11

日中国商用飞机有限责任公司在上海成立,从此我国将开启大飞机制造时代。

同时,国际化的转包生产为我国民机工业注入了新的活力。国际上大多数著名的飞机制造商和飞机动力生产企业,如波音、空客、通用电气、普惠、罗罗等公司都与我国航空工业企业签订了转包生产的项目,目前已形成了每年两亿多美元的产值。中国已参与了所有波音机型的制造,包括波音 737、747、767、777 和 787。其中,为波音 737 制造水平尾翼、垂直尾翼、部分后机尾段、舱门、翼板和其它部件,生产了所有波音 747 飞机后缘翼肋,在波音 787 这款最新的飞机制造中负责制造方向舵、翼身整流罩面板和垂直尾翼前缘等航空结构件。到 2007 年 9 月底,波音及其供应商与中国航空工业签署的有效合同总价值已超过 25 亿美元。同时,2007 年空客公司在中国的采购额超过 6000 万美元,到 2010 年将达到两亿美元。此外,世界上最大的航空结构件独立供应商之一的沃特飞机公司近年还同西飞与成飞签订了总价值约 8 亿美元的波音 747-8 合同。

可以断言,作为铣床大家庭最年青的成员,板式高速铣必将“广阔天地、大有作为”。 (责编 侧卫)

