

直升机铝合金机加件批产 工艺技术

Batch Manufacturing Process of Aluminum Machining Part for Helicopter

中航工业昌河飞机工业集团公司 蒋理科 祝益军 熊曦耀 陶剑锋



蒋理科

工程师,主要从事数控加工工艺和技术管理工作。先后参与多项国防基础科研项目,主要研究航空难加工材料切削参数优化技术,现负责航空工业“千台数控机床增效工程”技术应用支持工作,先后获国家实用新型专利3项,公司级科技成果多项。

某型机尾斜梁铝合金结构件数控加工从研制到小批量投产已有十多年时间,随着对产品加工情况的逐渐熟悉和对存在问题的不断改善,目前就单项零件加工而言,数控加工已经能够满足产品加工质量稳定的要求。但现行加工多数采用单件研制

结合生产实际中存在的问题,经过分析研究,本课题制定了某型机尾斜梁机加结构件批产工艺技术方案。该方案一方面解决了某型机高效低成本年配套生产的需求,另一方面研究和探索了一套适合各型号研制和批产需求的数控加工批产工艺方案及策略,并最终形成了可供参考的工艺体系指导文件,且能推广应用到其他型号生产中。

的工艺方案,存在生产准备时间较长,材料利用率不高,另外,缺乏从全局系统的角度出发进行工艺方案的总体规划和设计,仅就现行工艺情况去调配安排生产,从而出现大机床生产单个小零件,各机床间生产能力不平衡等情况。这些情况直接导致物料消耗大,生产制造成本过高,同时难以科学统筹安排生产,最终难以适应今后多型号交错研制和批产的实际需求。

结合生产实际中存在的问题,经过分析研究,本课题制定了某型机尾斜梁机加结构件批产工艺技术方案。

该方案一方面解决了某型机高效低成本年配套生产的需求,另一方面研究和探索了一套适合各型号研制和批产需求的数控加工批产工艺方案及策略,并最终形成了可供参考的工艺体系指导文件,且能推广应用到其他型号生产中。

批产技术方案规划

成组技术已发展到可以利用计算机自动进行零件分类、分组,它不仅应用于产品设计标准化、通用化、系列化及工艺规程的编制过程,而且在生产作业计划和生产组织等方面

也有较多的应用。

直升机铝合金结构件的结构主要分为：框、梁、桁、接头、角盒、支座、摇臂等7大类，加工很难做到大批量流水线式作业，只能对产品进行系列化成组工艺划分。在此基础上，对机加数控加工产品按成组原则划分为若干个具有一定数量的制造单元体，再以制造单元体为单位进行成组性工艺设计，从而实现柔性化小批生产制造。

直升机零件数控加工生产的主要特点是：多型号交错作业、零件结构品种多、产品单次批投数量少。针对这些特点，数控加工批生产重点应该在零件产品间进行总体工艺规划，采用成组加工技术，即按零件的用料规格、结构特征、加工工艺对产品进行系列划分，单元成组后制定关联性工艺，着力从零件成组加工、可通用性工件快速装夹定位、材料利用、设备合理使用及能力平衡等综合因素解决特定情况下的数控加工批生产问题，实现数控加工产品能够按照型号进度节拍要求配套供应。另外，对数控加工技术重点在工艺参数和加工工艺优化上进一步取得新的突破。

1 零件成组性工艺设计

成组技术所研究的问题就是如何改善多品种、小批量生产的组织管理，以获得和大批量生产一样好的经济效益。成组技术的基本原则是根据零件的结构形状特点、工艺过程和加工方法的相似性，打破多品种界限，对所有产品零件进行系统的分组，将类似的零件合并、汇集成一组，再针对不同零件的特点组织相应的机床形成不同的加工单元，对其进行加工，经过这样的重新组合可以使不同零件在同一机床上用同一个夹具和同一组刀具，稍加调整就能加工，从而变小批量生产为大批量生产，提高生产效率，如图1所示为通过成组技术形成的4个零件。

直升机零件成组性工艺设计主

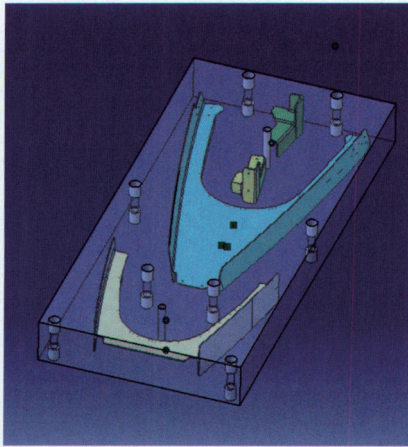


图1 通过成组技术形成的4个零件

要需考虑材料利用、组合加工、通用快速定位系统使用等方面的问题。

(1) 材料利用。

材料利用的重点问题是工艺排料和工艺余料利用。工艺排料的基本要求是按型号对零件数量的需求进行配套，排料尽量规整有序并便于下料，且考虑板料的料宽和料长，充分利用材料；工艺余料的利用一方面通过成组加工进行利用，另一方面做好标识后按余料管理进行再利用。

(2) 组合加工。

成组后的零件可进行组合加工，组合加工采用的主要方法有阵列和套料，阵列有单零件和多零件间的组合。在组合加工中除了要符合成组原则之外，重点还要满足零件加工工艺性(包括装夹方式、装夹次数、加工工艺过程等)一致，遵循按型号生产节拍及配套零件数量的要求，同时充分利用材料。

(3) 通用快速装夹定位。

通用快速装夹定位系统一方面对于成组加工的零件具有通用性和简单化，能够满足一定数量零件通用的柔性制造要求；另一方面能够实现快速定位和装夹的要求，减少辅助准备时间。

2 孔系快速装夹定位系统结构设计

装夹定位系统采用超硬铝板或普通钢板做基础平台，运用插销定位，螺栓压紧(有时为减少工艺余边，

可组合采用压板装夹)的形式，对于支座、盒形件等需要垫高摆角加工的零件可采用类似结构并加以垫高的通用工装。

(1) 结构形式。

考虑到工装的使用寿命和位置精度，装螺栓孔采用镶钢衬套。对于厚度超过50mm的零件，2边采用沉头设置；定位销孔直接在工装平台上增加，定位销采用铝制结构，定期更换或采用上大下小的结构，工装定位孔(槽)需定期进行修理。孔系快速装夹定位系统结构形式有3种：按需设孔系式快速装夹定位式：根据所需要加工的零件组设计和布局相应的定位销孔、定位槽和螺栓孔位；预设孔系式快速装夹定位式：该种工装在平台纵横方向每间隔一定距离均布螺栓孔，并在一定位置有规律布置定位孔和定位槽，对于工艺编程中设定定位孔则按统一规则进行设计；垫高式快速装夹定位式：该种工装主要用于摆轴角度较大会产生干涉的零件生产，根据需要垫高的高度，可以筛选出相近几组零件共同使用该工装。

(2) 工装自身的装夹及找正。

快速装夹定位系统自身一般采用压板或者内六角螺栓方式固定在机床的工作台上，利用工装特定的2个定位孔进行找正，也可在机床上装定位板或定位插销以快速定位工装。工装在加工使用前需要验证平面度，若不符合要求，则要调整或用盘刀铣平基准面。

3 成组加工编程工艺

结合百件加工工艺实验的成功案例，进行合理排样后，确定统一的加工基准，对选用刀具按粗、精加工工艺次序统一规划，人员可以分工作业，打包文件夹和程序命名遵循一定规则，含有零件、加工次序、选用刀具3个基本可识别的信息，编程中用到旋转、平移和组合等主要策略，编程后对单个程序进行必要的汇总合并，

通过仿真加以验证。

(1) 编程文件的组成。

编程文件由零件体文件、毛坯体文件、工艺检查体文件、装夹工具体文件组成,对于编程文件的要求出台并实施了《基于 CATIA V5 数控编程通用规范》。

(2) 成组加工编程工艺。

阵列加工零件在编程中可以采用软件中的旋转、阵列、镜像等策略,需要考虑的主要问题有装夹的稳定性以及加工时的刚性。

零件的加工刚性随着加工的状态变化而不断变化,因而在编程的时候要充分考虑到其影响。一般情况下,刚性弱的区域要先加工,比如内转角在刚性弱的时候很容易发生颤刀过切,因而先要加工内转角再加工外转角;另外,薄腹板加工也是加工中出问题比较多的地方,通过我们多次的实验和在具体零件上的验证,较好的加工方法是在毛坯较厚刚性足的时候先轴向加工到位,再将加工区域往四周扩大,也就是常说的轴向优先原则。

在组合以及阵列的零件毛坯上适当的位置应该设置压紧点,压紧点可以采用内六角螺栓或者压板压紧,需要考虑的问题主要有零件的干涉以及准备时间,因而尽量采用沉头孔加内六角螺栓压紧。

(3) 加工仿真的要求。

通过 CATIA 的仿真实接口,利用编程装配体,在 VERICUT 中导入零件体、毛坯体、工艺检查体,以及加工坐标系和选用刀具,按仿真要求对过程进行仿真和对比检验。

4 成组加工指令编制

(1) 单零件阵列加工指令编制要求。

指令首页说明栏注明该材料是几个零件加工的用料;指令装夹指明使用到的工装号,装夹示意图使用平面投影或者三维轴测图示意材料与工装的装夹形式,以及加工坐标系

的方向及位置,同时明示在工装中所用到的孔系标识;每一次装夹为一个加工工序,每一个工序要求附一个工序检测图,图中对于主要形成的侧壁、腹板厚度尺寸、孔尺寸进行标注,以便质量检测;指令要求注明装夹所需要的器具种类及数量,如螺栓规格及数量、压板规格及数量、装夹工装等,以便实行配送。

(2) 多零件阵列加工指令编制要求。

以其中尺寸较大者为主零件,其他为辅零件;指令首页说明栏注明,该材料为几个图号组合、共几个零件的加工用料;在主零件和辅零件指令说明栏都需要注明加工用程序,程序命名规则按“FNCP_主零件图号+ZH+零件品种数_主零件程序版本号”;主零件指令说明栏需要注明其他所有附零件的指令编号,而附零件指令则注明主零件的指令编号;主零件指令加工工序中指明装夹使用到的工装号,装夹示意图使用立体轴测图示意材料与工装的装夹形式,以及加工坐标系的方向及位置,同时明示在工装中所用到的孔系标识;辅零件指令数控加工工序可标明转主零件指令编号相对应的工序;每一次装夹为一个加工工序,每一个工序要求附一个工序检测图,无论是主零件还是附零件,在各自的指令中均需对自身零件部分在加工工序所形成的侧壁、腹板厚度尺寸、孔尺寸进行标注,以便质量检测;指令要求注明装夹所需要的器具种类及数量,如螺栓规格及数量、压板规格及数量、装夹工装等,以便实行配送;在主零件指令中,零件去工艺接块前需要对各零件进行临时标印,需要附各零件的指示总图。

5 生产辅助准备

铣方及加工基准孔、螺栓孔等生产准备工作不占用五轴机床,可以在三轴机床或者普通机床上集中进行加工,这样可以大大减少五轴机床的占用时间,节约大量的生产成本。

6 防错纠错措施

对于组合加工和大型零件加工,必须具有良好的防错措施,以减少零件报废。防错纠错主要针对刀具、坐标系的调用和设置、中间执行防错的操作、机床 RTCP 精度的故障。

刀具和程序的防错措施有 2 方面;首先,在程序和工序的设计过程中尽量减少换刀次数,原点设置方式统一,采用内六角沉头螺栓压紧方式,尽量避免干涉;其次,在工装上设置刀具和坐标系验证块,避免刀具和坐标系错误的情况发生。

(1) 刀具防错。

刀具错误往往发生在以下几方面:工艺员给错刀、工人调错刀号、工人输错刀具参数(或刀具测量出错)。

防错措施:设置对刀块,通过后置处理,将工艺人员编程所用的刀具信息调入程序,在后置处理中自动增加刀具检测程序,通过简单的运动,将刀具运行至指定位置,并设置暂停指令让操作工进行刀具的核对(只须检测刀具距对刀块间距),如图 2、图 3 所示。如发现刀具距对刀块间距不对,不能进行后续程序的加工。后期将采用对刀仪自动检测刀具相关参数。

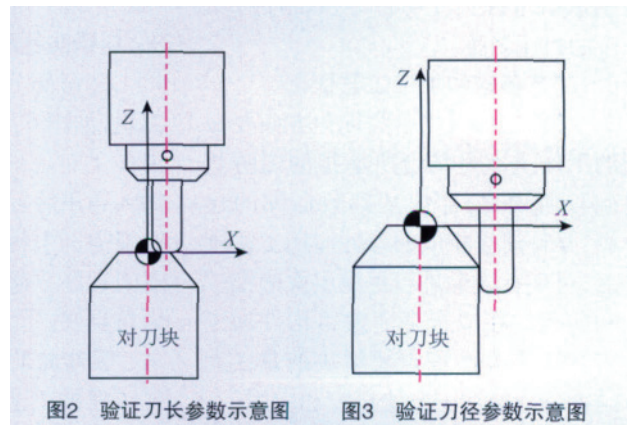


图2 验证刀长参数示意图

图3 验证刀径参数示意图

(2) 坐标系调用和设置防错。

防错措施主要有：通过工装定位，尽量减少坐标系的重新设定；增加坐标系校验程序，每个新坐标系的第一个程序编制时，由工艺员编制一个校验程序段，如铣一处 10mm 深的圆孔，在指令中画出孔位检测图，并由检验员对孔位进行检验。

(3) 中间执行操作的防错。

操作工在程序中断后的重新执行过程，比较容易出错，解决办法主要有：要求出后置时，不能选取优化选项，每个运动指令都带有完整坐标值；要求五轴程序的中断执行，一定要手动摇到中断点附近。

(4) 机床 RTCP 精度故障防错。

防错措施主要有：定期检查机床 RTCP 精度，通过刀具防错的方案，也能发现 RTCP 精度问题。

7 零件定设备

结合设备的结构特征和工作台面规格和所加工产品的情况，可确定其适合加工的零件类型，以此为基础对设备进行系列成组划分。对设备系列成组，按照加工能力平衡，合理进行零件定设备。通常对于某个型号零件批生产使用设备的规格，在考虑零件数量、加工工时、零件结构种类、以及其他型号的年生产任务等因素后，将零件相对固定在若干台机床上加工，另外考虑到设备故障和生产调度的不定因素，零件加工一般有 1 套为主、2 套以上定设备的备选方案。零件定设备后，要求在零件生产制造指令首页注明指令及程序可用于的机床名称。

8 工艺参数和加工工艺优化

目前，在工艺参数优化方面要做的工作重点是结合所承担的国防基础科研项目，加快基础数据库的建设，并且建立相应的参数应用工艺制度，对现有成果进行更深层次的推广和应用。在铝合金薄壁结构件加工工艺优化方面重点要解决的是 3 大结构特征的加工方法研究和应用。

批产技术应用

1 零件成组加工的应用

按照设计的工艺技术方案，对 12 组零件进行了试切验证，加工出的零件能满足图纸要求，验证合格。现 12 组零件已按此方法进行了批量生产，图 4 为部分零件采用批产工艺方法后的应用效果。

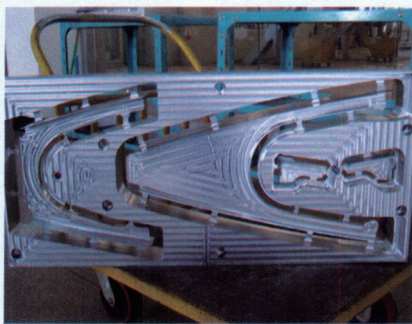


图4 双面U形框等4个零件套料加工

2 通用快速装夹定位系统的应用

根据零件成组工艺设计，制作 2 套快速定位装夹工装，如图 5 所示。经过试用，2 套工装均符合要求，在生产进度要求紧时，可以同时使用 2 套工装加工，保证生产进度。后续将逐步探索球锁快速换装系统的应用。

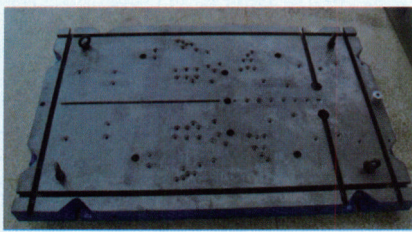


图5 钢制快速定位装夹工装

3 纠错防错措施的应用

公司部分数控机床已安装了对刀块(如图 6 所示)，在机床控制系统内作了对应的设置。对刀程序已经加入通用后置处理器中，在后置处理时只需选中相应选项，即可自动输出对刀程序。通过多台机床验证，应用效果良好。

4 零件加工定机床

根据工艺方案设计，通过排产，

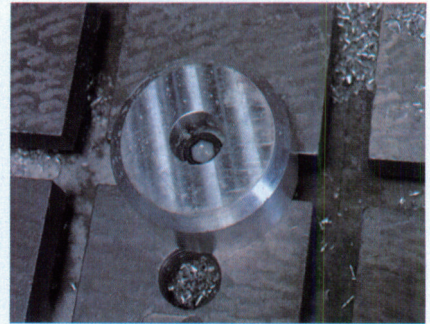


图6 安装在机床上的对刀块

将零件相对固定在 5 台设备上加工，可以留出机床进行其他机型零件生产。每组零件加工考虑了 3 台不同类型的机床，并将对应的数控程序上传至 CHPM 系统进行管理。

结束语

本课题较为系统地引入了铝合金机加零件批量生产的概念，并制定了相应的实施方案。达到了以下效果：在铝合金结构件中采用了孔系快速装夹定位系统，实现快速定位和装夹的要求；在零件加工中采用了防错纠错措施，避免了因出现原点、刀具等错误造成零件超差或报废，达到国内先进水平；明确了某型机铝合金机加件加工设备并相对固定。

通过应用批产工艺技术，减少了加工过程中的生产辅助时间，如铣方、零件装夹、换刀等；零件加工采用多件加工工艺方案，将程序中相同刀具综合在一起，减少换刀频率，降低了出错几率、提高了加工效率。通过对某型机铝合金机加件综合排料和工艺余料的再利用，节省了大量的材料；研究和推广了对于侧壁、腹板、转角 3 大典型结构特征采用的新工艺方法，提高了加工效率。

通过某型机尾斜梁机加件批产工艺的技术牵引，进一步增强了铝合金薄壁零件加工技术，带动和提高铝合金数控机加件批生产的整体技术水平和管理水平，为各型号批生产奠定了坚实的基础。

(责编 泰山)