

飞机结构件的数控加工技术研究

郭 旺,翟建军

(南京航空航天大学机电学院,江苏 南京 210016)

摘 要: 主要对飞机结构件的加工工艺和加工切削参数进行了研究。飞机结构件的结构复杂,材料加工难度很大,数控加工典型工艺的建立和加工参数的正确选择,在很大程度上可以降低成本,提高加工效率,更重要的是能够保证飞机结构件的加工品质。本文内容包括飞机结构件和材料特点的介绍、一般工艺和典型工艺的比较以及数控切削参数的研究。

关键词: 飞机结构件;数控加工;典型工艺;切削参数

中图分类号: V222;TG659 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5276(2005)01-0052-04

The Research of NC Machining Technology of Aircraft Structure

GUO Wang, ZHAI Jian-jun

(College of Mechanical Engineering, Nanjing University of
Aeronautics and Astronautics, JS Nanjing 210016, China)

Abstract: This paper mainly discusses the typical process and cutting-parameter in numerical control of Aircraft Structure Parts. Aircraft Structure Parts is very complex in structure and is very difficult in process. The typical process and cutting parameter can help to reduce cost and to improve efficiency and especially to ensure the quality of the process. It includes the comparison of typical process with usual process of Aircraft Structure Parts and the research of cutting-parameter of NC.

Key words: aircraft structure parts; NC; typical process; cutting-parameter

0 引言

随着现代飞机制造业以及数控加工技术的发展,新一代战斗机中大量采用了整体结构件。由于整体结构件具有加工难度大,制造精度要求高的特点,目前,越来越多的飞机结构件采用数控加工,飞机结构件数控加工的品质和效率的问题日益突现。在飞机结构件的数控加工过程中,切削参数和典型工艺的正确选用对保证数控加工品质、提高加工效率具有十分重要的作用。飞机结构件的机加工难度很大,采用数控加工可以从很大程度上降低成本,提高加工效率,更重要的是能够保证加工品质。

和表现者。传统企业在电子商务化进程中,应该根据自身特点,选择相应的网站类型和管理模式,建设和管理好电子商务网站,才能从电子商务中取得较好的收益。

参考文献:

[1] 王曰芬,丁悬春,等. 电子商务网站设计与管理[M]. 北京:北

1 飞机结构件及其材料特点

1.1 飞机结构件

飞机结构件是构成飞机机体骨架和气动外形的重要组成部分,它们品种繁多、形状复杂、材料各异。与一般机械零件相比,加工难度大,制造水平要求高。例如壁板、梁、框、座舱盖骨架等结构件与构成飞机气动外形的流线型曲面、各种异形切面、结合槽口、交点孔组合成复杂的实体。整体结构件尺寸大,壁薄,易变形。零件槽间距离仅2~5mm,腹板厚度也仅有2~4mm,筋顶形状复杂^[1]。

在飞机产品中,结构件的数控加工在零件加工

京大学出版社,2002.

[2] 刘四青. 电子商务网站建设与成本收入分析[J]. 华南金融电脑. 2003,11,(7):13-16.

[3] 徐汀荣,黄 斐. 电子商务原理与技术[M]. 北京:科学出版社,2004.

收稿日期:2004-07-05

中占有很大的比例,在新一代战斗机中,有75%以上属于数控加工件。这些数控加工件中涉及的零件主要有框、梁、肋、壁板、接头和蜂窝结构等,其中框、梁、肋、壁板和接头是各种机型最典型的飞机结构件,具有加工周期长、数量大和技术难度高的特点。

1.2 材料特点^[2]

材料不仅是制造航空产品的物质基础,同时也是航空产品达到人们所期望三维技术性能、使用寿命与可靠性的技术基础。飞机结构件材料的特点可以概括为轻质、高强和高可靠。由于飞机结构件具有高科技密集、系统庞大复杂、使用条件恶劣多变、要求长寿命、高可靠性和批量小等特点,使其材料也具有以下特点:

a) 种类、品种和规格多。新一代的飞机处于安全和多用途的考虑,使用的新材料越来越多样化;

b) 高的比强度(σ_E/ρ)和高的比刚度(E/ρ)是飞机结构件材料的重要特点,减轻结构质重可以增加飞机的运载能力,提高机动性,加大航程。因此,高强度铝合金、钛合金和先进复合材料在航空工业上得到广泛的应用;

c) 高温合金是飞机结构件材料重要组成部分,尤其是对于发动机材料,随着发动机推重比(或功重比)的提高,涡轮前温度也随之升高,对材料的耐高温要求也越来越高;

d) 品质要求高,由于飞机是一种载人反复运行的产品,在规定的使用寿命期内,对使用可靠性、安全性有着极其严格的要求;

e) 抗疲劳性能是飞机结构件材料另一个突出特点,大量事实表明,在飞机、发动机所发生的失效事件中,约80%以上是各种形式的疲劳损伤引起的;

f) 成本高,价格贵。飞机结构件材料比一般材料价格昂贵很多,如果加工失误,会造成很大的经济损失。

2 数控加工典型工艺

2.1 数控加工典型工艺

数控加工典型工艺是在零件分类的基础上实现工艺的统一,是工艺标准化中的重要组成部分,尤其适合于材料比较昂贵,而且要求比较高的场合。对于那些产品品种比较单一,产品类型有较大

的相似性,大多数零件相似程度高,产品更新速度慢的企业来说,总结数控加工典型工艺可以方便生产使用。

数控加工典型工艺是根据零件结构等工艺特性来进行分类编组,对同组零件制定统一的加工方法与工艺规程。数控加工典型工艺不是研究一个零件,而是研究结构形状相似的一组零件或零件的同一工艺要素的制造工艺,找出他们在工艺上的共性:是根据产品的要求,结合企业的实际条件,采用比较先进合理的工艺方法,并用通用技术文件文字的形式固定下来,用以指导具体工艺文件的编制,这就是数控加工工艺典型化的主要任务^[3]。

数控加工典型工艺是在零件分类的基础上实现工艺的统一化,以统一的工艺代替组内各个零件的加工工艺,能够在不同的条件下解决工艺过程和工艺装备的统一,进而促进工艺标准化。

2.2 应用实例

如图1所示零件属于典型的单面“C”形框,是前机身上的主要承力构件。零件上带有理论外形面、减轻槽和装配定位孔等。腹板与缘条厚度较薄,一般为1.5~3mm左右。

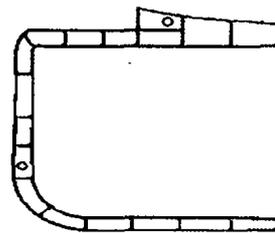


图1 承力构件

下面详细的比较一般工艺加工和典型工艺加工的区别^[4]:

图1的“C”形框的一般加工工艺:

准备(领料)—下料—铣工(基准面A)—铣工(基准面B)—数铣(制工艺孔、压紧孔)—装夹零件—粗铣、精铣—钳工—半成品检验—(特检)—表面处理—成品检验。

采用数控加工典型工艺以后的工艺:

在数控加工过程中,根据工艺方案设计的专用铣夹,选用五坐标数控铣床,采用一次装夹、一道工序完成整个零件的粗、精加工。使用的刀具种类主要有端铣刀、立铣刀、钻头、扩空钻和铰刀等,铣刀的底角 R 由零件底角尺寸而定。

准备(领料)—下料—铣工—铣工—五坐标数

铣—粗铣、精铣—钳工—半成品检验—(特检)—表面处理—成品检验。

如图2所示该零件是一个具有复杂型面结构件图,既有平面又有斜面还有下陷凸台与孔。

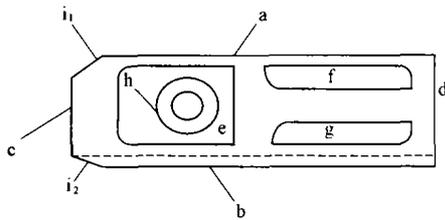


图2 复杂型面结构件

图2的典型工艺为:准备(领料)—下料—仿型铣,铣切(a)—铣切(b)—铣切(c,d,i₁,i₂)—铣切(e,f,g),大下陷—铣圆凸台(h)—钻凸台孔并扩钻—钳工—半成品检验—挫修圆角、倒角—表面处理—成品检验。

一般的工艺加工和数控加工有很大的差别,就效率来说,加工上面的“C”形框承力构件就有很大的差别,采用数控典型工艺加工的效率是普通机加工效率的1.25倍。图2所示的数控典型工艺加工的效率与普通的机加工工艺也有明显的差别,大约为1.06倍。

3 切削参数的选择

在飞机结构件的数控加工过程中,切削参数的正确选用对保证数控加工品质、提高加工效率具有十分重要的作用。

3.1 切削参数选用准则

a) 选择合理的NC铣削用量,必须联系合理的刀具耐用度和磨钝标准。在冷却状态良好,精切顺铣时,可适当增加刀具耐用度,减少停机换刀时间,提高效率;

b) 对航空件,由于受飞机构件的结构特点限制,铣削深度与宽度可选性不大,因此选用切削用量主要是选用每齿进给量与铣削速度。一般根据单件工序最大生产率选用粗加工用量,精铣用量受加工要求限制,可选单件经济耐用度组配用量,使铣削速度接近国外常用铣削速度;

c) NC铣削铝合金时,在切削条件良好的状态下,铣削速度可选50~300m/min,300~1200m/min;每齿进给量可选0.17~0.38mm,0.05~0.22mm。前者为高速钢刀具选用参数,后者为合金刀具选用参数;

d) 利用现有铣削计算公式和计算尺寸,应按刀具直径加以不同的修正系数来确定铣削速度;

e) 确定NC铣削基本数据,一定要从实际NC加工系统出发,构件加工特征对选用铣削参数影响甚大;

合理选择切削用量的原则是:粗加工时一般以提高生产率为主,但也应考虑经济性和加工成本;半精加工和精加工时,应在保证加工品质的前提下,兼顾切削效率经济性和加工成本。

3.1.1 切削深度 a_p 的选择

在工序加工余量确定之后,切削深度的选择比较容易,可以根据尺寸精度等级和切削深度的关系,确定各精度等级所对应的切削深度范围。再与已有的加工余量值进行比较,若加工余量值在相应的范围内,就使切削深度等于加工余量,否则分两步切除。在机床工件和刀具刚度允许的情况下,切削深度就等于加工余量,这是提高生产率的一个有效措施。为了保证零件的加工精度和表面粗糙度,一般应留一定的余量进行精加工,数控机床的精加工余量可略小于普通机床。

3.1.2 切削速度 v 的选择

切削速度 v 提高也是提高生产率的一个措施,但 v 与刀具耐用度的关系比较密切。随着 v 的增大刀具耐用度急剧下降,故 v 的选择主要取决于刀具耐用度。另外切削速度与加工材料也有很大关系。例如:用立铣刀铣削合金钢30CrNi2MoVA时 v 可采用8m/min左右而用同样的立铣刀铣削铝合金时, v 可选200m/min以上。

当切削深度和进给量确定之后,切削速度 v 和刀具耐用度 T 的关系为:

$$v = \frac{C_v}{T^m f^{x_v} a_p^{x_v}}$$

式中: f ——摩擦系数;

α ——刀具与工件的夹角;

C_v (系数)和 m 、 x_v 、 x_v (指数)等可以从文献5中查出。

3.1.3 进给量 f 的选择

粗加工进给量的选择主要考虑工艺系统刚度、切削力大小和刀具的尺寸等。所确定的进给量,要保证机床、刀具不致因切削力太大而损坏;切削力所造成工件的挠度不致超出工件精度允许的数值;表面粗糙度值不致于太大。在半精加工和精加工

时,按粗糙度要求,根据工件材料、刀尖圆弧半径、切削速度等选择进给量。在生产加工中进给量选择大体由以下几种方式完成:一种是进行大量的实验,建立切削数据库,需要时可立即从库中调出最佳的切削用量值。在一些工业化国家部分采用这种方法,属于较先进的,但建库的工作量和投资都非常大;另一种是根据理论公式进行计算得出,但进给量是综合考虑各相关因素来确定的,其实践性和经验性很强,涉及的因素也较多,很难总结出一个完善的公式,所以这种方法应用的较少;还有一种方法是根据经验数值或手册上的表格查出有关的数据。

3.1.4 切削宽度 a_e

一般切削宽度 a_e 与刀具直径 d 成正比与切削深度成反比。经济型数控加工中一般 a_e 的取值范围为 $a_e = 0.6 \sim 0.9 d$ 。

3.1.5 主轴转速 n (r/min)

主轴转速一般根据切削速度 v 来选定。计算公式为:

$$n = \frac{v}{\pi d} \times 1000$$

式中, d 为刀具或工件直径, mm。

数控机床的控制面板上一般备有主轴转速修调倍率开关,可在加工过程中对主轴转速进行整倍数调整。

3.1.6 进给速度 V_F

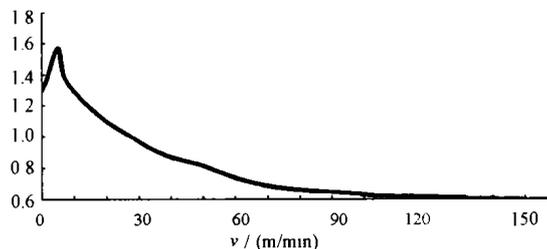
V_F 的选取应根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具和工件材料来选择。 V_F 的增加也可以提高生产效率。加工表面粗糙度要求低时, V_F 可选择得大些,在加工过程中 V_F 也可通过机床控制面板上的修调开关进行人工调整,但是最大进给速度要受到设备刚度和进给系统性能等的限制^[6]。

另外,随着飞机制造业的发展,很多的飞机结构件采用难加工材料(如钛合金),难加工材料在数控切削参数的选择上要注意以下几点:1) 切削速度要低;2) 增大切削深度;3) 切削加工不能停止走刀;4) 尽量采用冷却液;5) 要求机床-夹具-刀具系统刚性好。

3.2 应用实例

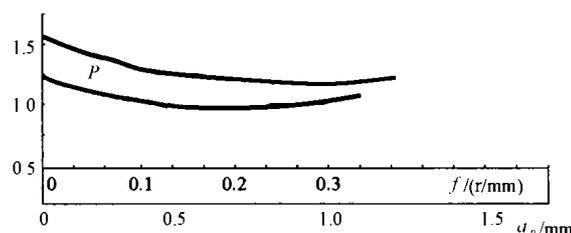
切屑变形系数是切削层长度与切屑长度的比值,用 ξ 表示,它能在一定程度上反映切削过程的塑性变形程度, ξ 越大表示塑性变形越大。图 3 和

图 4 分别显示了切削速度对变形系数的影响以及进给量和切削深度对变形系数的影响。



(材料:TC4;切削用量: $f = 0.22 \text{ mm/r}$, $a_p = 1 \text{ mm}$)

图 3 切削速度对变形系数的影响



$\xi = f(a_p), f = 0.22 \text{ (mm/r)}, v = 35 \text{ m/min}$

$\xi = f(f), a_p = 1 \text{ mm}, v = 35 \text{ m/min}$

图 4 进给量和切削深度对变形系数的影响

4 结束语

飞机结构件加工不但精度要求高,而且有严格的品质控制和使用寿命要求。典型工艺和切削参数的正确选择和应用对发挥机床的效能,保障产品的品质至关重要。本文结合部分飞机结构件的结构特点,编制出部分新型材料飞机结构件的数控典型工艺以及介绍了飞机结构件的切削参数的选择,从而提高了飞机结构件的数控加工效率和品质。

参考文献:

- [1] 陶建华,宗志坚,刘作毅. 基于数据库的典型工艺 CAPP 系统[J]. 机械设计与研究,2001,(1).
- [2] 许建新,孔宪光,贾晓亮,黄乃康. 飞机结构件集成化智能化 CAPP 技术[EB/OL]. http://www.e-works.com.cn/e-works_zx/index.htm,2002-09-03.
- [3] 罗小尼. 面向飞机结构件的数控加工典型工艺研究和开发[D]. 南京航空航天大学硕士研究生论文,2004.
- [4] 周文亚,边月明,张明闲. 航空常用铝合金 NC 切削数据库的研究与开发[J]. 航空制造技术,1994,(3).
- [5] 姚卿达. 信息技术几个问题的进展[J]. 现代计算机,1998,(1):12-13.
- [6] 赵葛霄. 数控加工中刀具的选择与切削用量的确定[J]. 计算机辅助设计与制造,2000,(11):13-14.

收稿日期:2004-07-16