

# 复杂形状壳体数控加工研究

陈建宁, 何超, 袁江  
(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 应用 UG CAM 对复杂形状壳体进行机床仿真加工, 避免了实际加工中存在的问题, 提高了产品加工效率和质量, 解决了以往壳体加工变形的问题。同时, 为保证产品批次质量的稳定性, 提出了采用可视化工艺文件的建议。

**关键词:** 复杂形状壳体; 虚拟制造; 可视化数控工艺

**中图分类号:** TH161      **文献标识码:** A      **文章编号:** (2010) 04-0049-05

## Study on digital machining of complicated shells

Chen Jianning, He Chao, Yuan Jiang  
(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** Machining simulation based on the UG CAM software was performed to improve the manufacture quality, shell deformation and production rate of complicated shell parts. Application of visualized documents in batch manufacture of complicated shells was proposed.

**Key words:** complicated shell; virtual manufacture; visualization digital technique

## 0 引言

复杂形状壳体为重要件, 产品形状复杂, 尺寸精度高, 形位公差要求严, 使用常规方法加工, 很难保证产品质量的一致性, 而且加工效率低, 产品合格率低, 加工的产品存在轻微变形,

不能保证每一批产品精度的一致性。显然, 传统加工方法不能满足产品高质量的要求。因此, 需用一种更为先进的加工方法, 满足产品高质量、高精度的要求。复杂形状的产品使用数控技术加工, 在现代加工制造业中已被广泛应用。它是一个涉及到计算机三维造型、CAM 自动编程技术、测量技术、制造工艺学、切削仿真技术等多学科

收稿日期: 2010-01-18; 修回日期: 2010-04-28。

作者简介: 陈建宁 (1978—), 男, 工程师, 研究领域为机械加工工艺。

交叉的综合性应用技术,因此具有较高的技术难度。M920加工中心,有三轴(3+2)联动功能,具有高精度、高效率,加工适应性强等特点,能够适应多型面产品的数控加工。本文针对复杂形状壳体的虚拟数控加工进行了研究。

## 1 产品的结构特点分析

复杂形状壳体是一种形状复杂,多种结构集于一体的产品,每个面的形状都较为复杂,且每个型面都有相互关联尺寸,是典型的异型多面体。产品上每个形状都有自身特有的作用。有连接螺纹、有金属密封台、有密封型面、有通气小孔等。此类产品的各个结构相互作用、相互影响,而且由于其工作条件较为恶劣,对产品本身的精度和质量提出了很高的要求。异型多面体的加工质量直接影响其工作性能,并可能影响整机性能。整个产品加工难度大,尺寸要求高,这对数控加工提出了很高要求。图1为壳体的结构,其多个面均为复杂型面。

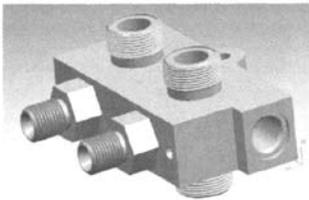


图1 复杂形状壳体结构  
Fig.1 Complicated shell structure

## 2 虚拟加工及产品质量的保证方法

### 2.1 建立机床拓扑结构

在很多产品建模中,往往忽略产品与设备的装夹关系。在模拟加工时,加工过程没有任何问题,但在实际生产过程中,往往会出现刀具与装夹夹具干涉、撞刀等现象。在本次数控建模过程中,针对M920机床特点,首先建立虎钳的实际模型,用于装夹产品实际模型,通过UG软件建立机床的拓扑结构。然后添加机床以及各运动轴的三维几何实体,并按正确的位置关系装配。运

用UG自带的编程语言,添加适当的G代码和M代码功能,加载加工程序以及所需刀具就可以进行加工仿真。产品在M920加工中心中的装夹关系如图2所示。

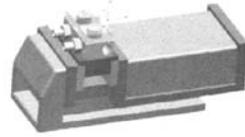


图2 产品装夹关系  
Fig.2 Product-jig relationship

### 2.2 使用UG建立的加工工步模型应和设计图纸产品保持一致

为保证产品质量,产品建立加工模型时,必须检测建立的加工模型与工艺设计模型及设计图纸是否保持一致,这样可以避免人为因素带来产品质量问题,同时可以检测工艺模型的正确性。

### 2.3 解决壳体变形的工艺方法

在以前生产中,壳体机械加工后存在变形问题,影响到装配时的行程调节。壳体变形来自加工过程中的切削应力,而切削应力的产生主要来自两个方面:第一,切削加工不对称。从以前的数控加工程序中可以看出,复杂形状壳体毛坯件加工时,每次加工完一侧,然后再加工另一侧,这样使得应力释放不均匀,造成壳体变形。第二,使用低转速,大切削量的方法加工复杂形状壳体。这样就造成切削应力很大,在后续加工过程中,切削应力不断释放,使壳体变形,到最后装配时就影响到活门行程的调节。本文通过优化加工毛坯和应用合理的加工工艺方法,消除了壳体变形问题,保证了产品质量。

### 2.4 壳体的模拟加工

在完成各项准备工作后,对加工的各道工序进行了虚拟加工,虚拟加工过程安全,无任何警报、过切、撞刀等问题。图3为某工序虚拟加工过程,图4为此工序完成虚拟加工后,通过比较功能观测虚拟加工完成质量,白色的为未加工面,红色的为过切面,绿色的为合格。从图4可以看出,1、2、3、4处为白色,这与工序过程相

符合,它们分别代表60°锥角、倒角、退刀槽和M5-2螺纹孔,将在后续工序中加工。而5处为六方面,存在白、绿、红三色,6处为M12×1.25-2a的外径,为红、绿两色,5处和6处的表现是不是存在未加工或过切问题呢?答案是否定的,造成这样的原因是因为模型显示精度为0.0001,模拟刀具步距加工精度为0.005,显示精度高于模拟加工精度,因而在加工表面易形成混合比较区,属于正常现象,不会影响产品精度。在虚拟加工完成后,未发现问题,就可以生成数控加工程序,进行产品的实际加工。

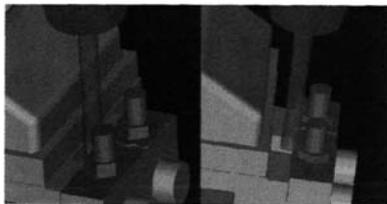


图3 虚拟加工

Fig.3 Virtual machining

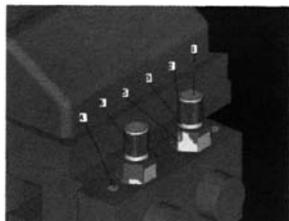


图4 虚拟加工检查

Fig.4 Virtual machining inspection

2.5 通过首件鉴定及试验验证,此种数控加工可以保障产品质量

产品加工完成后,对复杂形状壳体进行前三件的首件鉴定。从检测结果看,数控加工产品,满足设计图样要求。然后对产品进行装配,装配中活门行程利于调节,基准无变形。最后进行试验验证,各项技术指标合格。

### 3 保证产品每批高精度的方法

产品加工完成后,如果直接保存数控程序,

在下次使用时,很难看出数控程序的真实意义,数控工艺人员需花大量时间才能看出其中的数控意义,而且,第一次使用不一定加工出合格产品。为了保证产品高精度、高质量要求,数控文件的可指导性,通俗易懂性很重要。因此,提出可视化数控工艺文件,提高程序的可辨识性,可操作性。可视化工艺文件主要有以下特征。

#### 3.1 数控程序文件具有明显的段落性

对于复杂数控程序,在加工过程中,要不断变换刀具,变换加工坐标系,即使在同一个工序中,也存在着各种加工约束条件的不断变化,因此,在一个庞大的数控程序中去划分它的段落性是很难的。通过在实际生产中及虚拟加工的经验积累中,发现在同一加工型面作为一个数控程序有明显优点。第一,利于数控程序辨认,只要确定在加工那个型面,其中的数控程序就明白加工的位置及型面了。第二,利于数控程序G55等加工坐标系的物理划分,懂得数控加工的人员明白,每次加工都有一个加工坐标系,如果不按同一加工面原则,而按每个型面加工原则去定义加工坐标系,对于复杂的产品而言,G55等加工坐标系不能满足型面数量的要求。第三,利于产品生产。如果按照刀具原则去定义程序的段落,不符合产品加工习惯,造成混乱,并且对程序的坐标系无法测得,使产品加工精度不能保证。由于以上原因,考虑应以同一加工型面作为一个程序段落最为合理。

#### 3.2 建立数控加工参数库

复杂产品的加工,加工过程中要使用很多不同刀具,为了更准确的掌握这些刀具在加工过程中的作用,确定每个刀具在工序中的位置,确定每个刀具的身份,确定每个刀具加工的性能,同时要确认加工产品尺寸是什么,精度是多少,这就有必要建立一个数控加工参数库。在实际加工过程中,工人可以将加工零件的尺寸与此图相比较,进行自检及专检等。更重要的是,此图将此工序中的加工技术要求明确,对生产有很多好处,如对加工方法和加工深度的确认,便于技术人员知道加工的轨迹,有利于首件加工和确认。对刀具的定义和说明,利于数控加工中心的装刀

和产品的加工，同时利于刀具的管理。

### 3.3 建立工步图与数控程序相结合

图5、图6和图7是此工序中加工螺纹的三个工步，即倒外圆角、铣退刀槽、铣螺纹的影像图及数控加工程序。通过这些小工步图的展示，就在我们的脑海中形成了整个数控加工过程，此时非常易于识别数控加工程序。但不一定所有的程序都配影像图，当数控程序简单时只需工序图即可。

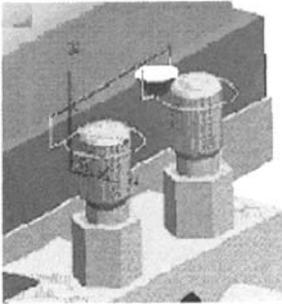


图5 倒角  
Fig.5 Chamfering

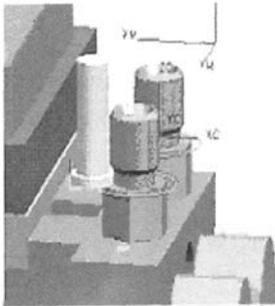


图6 铣退刀槽  
Fig.6 Milling tool retracting slot

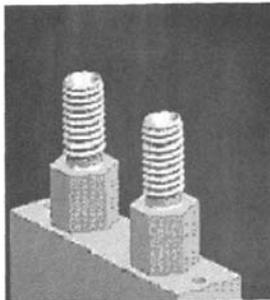


图7 加工螺纹  
Fig.7 Thread machining

对数控程序文件完成可视化文件后，在加工产品时，按照此方法，数控加工参数不会变化。加工刀具、装夹方式、加工坐标系同样不会变化，它是一个完全固化了所有参数的文件，数控加工的参数及方法不会变动，无论操作人员怎样变动，工艺人员怎样变动，此种文件可以保证加工的产品每批产品质量状态一致。通过多批产品的加工，可视化工艺文件的指导性很强，操作人员按照可视化工艺文件，快捷、顺利地加工出了合格产品，且每批产品生产精度一致。

## 4 使用数控虚拟加工的优点

通过复杂形状壳体虚拟数控加工研究，发现使用虚拟数控加工技术和可视化工艺文件，在生产中有很多优点，主要体现在以下几个方面。

### 4.1 技术优点

通过对复杂形状壳体的虚拟加工，可以清楚的看到，数控虚拟技术在不占用物理条件下，完成对产品的虚拟加工，解决了生产中的问题，此种方法利于生产。

### 4.2 加工质量及效率

虚拟数控加工技术提高了加工效率，加工速度是以前的3.3倍。并提高了产品的质量和合格率。过去合格率为70%，现在合格率为100%。并且节省了大量的人力、资源和时间，这些都是普通设备无法比拟的。

### 4.3 管理革新

可视化工艺文件可以作为一种先进的管理方法引进我们的生产中，可以将复杂的产品的加工过程或复杂产品的装配过程用可视化文件固化下来，把所有的加工参数进行了约束，在加工产品前，操作人员通过观看文件，产品在加工过程中是怎样装夹的，装夹在什么位置？产品加工坐标系在什么位置？产品加工坐标系之间有什么样的联系，刀具的作用，刀具的大小，可以做到一目了然，心中有数，完成产品的加工，保证产品质量的稳定性。通过可视化文件的应用，提高了产品的生产管理。

(下转第58页)

最后,对在纵焊缝的延长线上组对的产品焊接试板进行检查。检查结果表明,基层力学性能以及复合层焊缝熔敷金属的化学成分、晶间腐蚀速率均满足了产品设计技术条件的要求,产品质量合格。

## 4 结论

焊接前通过理论计算得出产品的合理预热温度,焊后立即对产品进行消氢处理,保证了产品的焊缝未产生焊接冷裂纹。通过特定的焊接工艺评定试验确定出产品的焊接规范参数,使 15Cr-MoR 基体材料的力学性能满足要求,同时也保证了 Incoloy825 复层的晶间腐蚀性能。在实际生产中只要保证堆焊金属最小厚度 $\geq 4\text{mm}$ 即可保证熔敷金属的化学成分要求和晶间腐蚀性能,使产品满足设计质量要求。

(编辑:陈红霞)

(上接第 52 页)

## 5 结束语

通过多批产品的验证,应用此种数控加工,满足了复杂形状壳体高质量的要求,解决了对人力、时间、资源的浪费问题,提高了加工效率,缩短了制造周期。可视化数控文件在生产中的应用,保证了每一批产品质量状态相同,可以避免因工艺人员及数控操作人员变化而引起的产品质量问题,在实际生产中起到了良好的作用。通过对复杂形状壳体的数控加工研究,得出以下结论。

(1)通过本次数控加工研究,解决了产品变形问题,提高了加工效率,加工速度提高了 3.3 倍。提高了合格率,过去合格率为 70%,现在合格率为 100%。提高了产品精度。

(2)对于形状复杂、难以加工的产品,应该大量使用数控虚拟技术,提前解决生产中的问

### 参考文献:

- [1] 柯玉雄. 15CrMoR 钢材的焊接 [J]. 焊接技术, 2004, 33(3): 70.
- [2] 郭会民, 赵仕哲, 李万万. 溶化极混合气体保护焊工艺研究与应用[J]. 火箭推进, 2007, 33(2): 57-62.
- [3] 王辉. 钛合金张力贮箱焊接工艺改进 [J]. 火箭推进, 2001, 27(5): 40-44.
- [4] 丁新玲. 液体火箭发动机喷管延伸段制造新技术[J]. 航天制造技术, 2006, (6): 4-8+17.
- [5] 周振丰, 张文钺. 焊接冶金与金属焊接性[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [6] 陈裕川. 低合金结构钢的焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

题,在生产中应该加大使用。

(3) 可视化工艺文件的应用,提高了车间生产管理水,此工艺方法可作为一种管理方法推广,应用在复杂产品的生产及复杂产品的装配中。

### 参考文献:

- [1] 锥亚涛. 不锈钢弯管用预制椭圆孔翻边成形圆孔[J]. 火箭推进, 2009, 35(1): 50-53.
- [2] 梁炳文. 钣金冲压工艺手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1989.
- [3] 巩水利, 陈振藩, 于琴. 三通翻边模具研制[J]. 机械制造, 2001, 39(3): 10-13.
- [4] 赵如福. 金属机械加工工艺人员手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- [5] 王笑天. 金属材料学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

(编辑:王建喜)