

超声波铣床基于 CATIA V5 复合材料蜂窝件 数控编程方法研究

Research on NC Programming Based on CATIA V5 of Ultrasonic Milling Machine Tool for Composites Honeycomb Part

中航工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 张永岩 张 超
北 京 航 空 航 天 大 学 李 薇

[摘要] 本文针对超声五坐标数控加工设备的蜂窝数控加工方法及后处理特性进行分析,开展了在 CATIA V5 软件中相应编程方法和体系研究,开发了满足该设备数控编程需要的基于 CATIA V5 的资源库,制定了相应的编程方法规范。

关键词: 复合材料 蜂窝 超声加工 CATIA V5 编程 刀具库 宏命令

[ABSTRACT] Based on the analysis of NC machining process for honeycomb and post processing performance for the 5 axis ultrasonic NC machine, relative programming method in CATIA V5 software are studied the resource library required by NC programming of this machining based on CATIA V5 is developed and programming regulation is layed down.

[Keywords] Composites Honeycomb Ultrasonic-machining Programming in CATIA V5 tool library Macro commands

蜂窝材料作为飞机机体轻量化的填充材料在近年来被广泛应用,特别是在机体壁板类结构件设计中更是被大量应用。例如波音公司最新的梦幻 787 以及空客公司 A380 飞机以及我国设计的各类新型飞机,机体、螺旋桨机翼等结构都广泛使用蜂窝材料。因此,在航空制造企业里,如何提高蜂窝的加工能力,吸收最先进的蜂窝加工技术,是我们迫切需要解决的难题。

传统的蜂窝切割通常采用划线定位、金属刀片手工切角或带锯切割的方式,其特点是操作方便、成本低,其缺点是切割质量差、质量稳定性不高,难以完成复杂结构和特殊形状要求的蜂窝切割。

很多航空制造企业近年来使用普通五坐标数控加工设备进行蜂窝的加工,为此研究了很多夹持紧固方法和切削刀具以及切削控制方法,但是,这种普通的切削方式有很多弊病,如:在切削过程中,由于是切碎蜂窝,

会产生大量粉尘碎屑;普通刀具高速旋转产生的侧向切削力大,蜂窝容易变形产生过切现象,也很容易将边缘蜂窝打掉,造成缺陷;切削过程中散热大,角度难于控制,极易产生蜂窝塌陷或烧灼现象;夹持紧固方法要求高,大多需要特殊辅助材料和装置,有些方法受型号设计要求限制不允许使用,造成夹持紧固困难。

超声振动加工作为新型的加工方法被用于蜂窝等材料的加工中。不同于传统的高速铣钻工艺,超声波切割技术的核心是超声切割头。其基本原理是利用一个电子超声发生器,先产生频率在 20~30kHz 的超声波,然后通过置于超声切割头内的超声-机械转换器,将原本振幅和能量很小的超声振动转换成同频率的机械振动,再通过共振放大,得到足够大的、可以满足切割工件要求的振幅和能量(功率),最终传导至超声切割头顶端的刀具上,对蜂窝等复合材料进行切割加工。超声振动加工与传统蜂窝加工方法比较,有很多独特优势:(1)从加工效率来看,超声切割可以获得高达 60m/min 的切割速度,效率远超其他类加工方法。(2)传统高速加工方法在加工蜂窝材料时,不可避免地要产生粉尘、对操作人员和工件本身造成污染,而且无法得到理想的表面和型面加工质量。而超声切割因属于无切屑加工,可以完全避免对操作人员和工件的污染,并可显著地改善工件形面质量。(3)超声振动切割,其侧向切削力小,刀具可以更容易地将材料分割开,夹持紧固相对要求的条件低,较容易实施。(4)加工过程中不易发生烧灼现象,加工零件的复杂程度高、精度高。

针对以上蜂窝传统加工方式的困难和超声振动加工的优势,中航工业哈飞在 2006 年引进了 GFM 公司生产的五坐标超声振动数控加工设备用于蜂窝材料的加工,此设备是航空制造企业首台引进,而且 GFM 厂家使用的是基于 Solidworks NCL 软件模块进行编程。其编程功能灵活性、切割仿真显示效果以及可操作性都非常差,仍大量采用手动定义数据及控制命令,难以满足我

公司的长远应用需要,且与中航工业哈飞现有的 CATIA 应用环境不统一。因此,本文所探讨的是如何在 CATIA V5 软件的编程环境下实现此设备的数控编程。

1 超声设备的基本加工工艺特性

1.1 超声蜂窝切割装夹方法

GFM 超声设备配置了一套标准的真空吸附加工平台,如图 1 所示。对于所有可展的蜂窝加工,均可用该平台作为吸附工装。将蜂窝紧固在平台上主要采用 2 种方式:一是用单面胶粘结蜂窝材料,并用真空平台吸附,主要用于粘结强度要求高,加工复杂的情况;二是采用普通薄膜材料覆盖到蜂窝材料上,直接真空吸附紧固,主要用于零件的简单倒角加工等。由于超声切割的切割力很小,此 2 种方法基本可以满足实际制造需要。



图1 超声机床
Fig.1 Ultrasonic machine tool

对于预成型的蜂窝加工,可以制造专用的切割工装用于切割夹持,此类零件切割状态都相对复杂,因此需要加强其粘接力。

1.2 超声蜂窝切割刀具

根据机床的特性,我公司主要选用 2 种超声切割刀具,一种是直刃刀,如图 2 (a)所示,有长刃和短刃 2 种规格,用于粗加工平面或曲面,以及精确切割产品边界等;另一种是加工平用的盘式刀,如图 2 (b)所示,有 $\phi 50.8\text{mm}$ 及 $\phi 15\text{mm}$ 2 种,用于半精、精加工平面或曲面。切割工件时,先用直刃刀去除大块的材料,然后再用盘式刀扫平工件表面(或底面)。

1.3 超声波铣床蜂窝加工特点分析

超声蜂窝加工与传统的蜂窝加工方法比,有一定的技术优势,但在加工过程中,仍有很多工艺问题需要特别关注。

蜂窝具有很强的可延展性,因此加工过程中要根据型号的要求采用适当的夹持、粘结方法;加工过程中的走刀速度要严格控制,特别是盘状刀具的旋转极易使蜂窝栅格拉长或压缩,影响型面加工精度和边界尺寸。

由于超声切割刀具只是将蜂窝切断而不是像普通铣刀一样切碎,刀具在切割过程中要考虑材料的预先切断。

对于盘状刀具,在铣切型面过程中也要考虑刀盘对蜂窝型面的压伏等问题。

2 基于 CATIA V5 超声蜂窝切割数控编程方法

在 CATIA V5 中针对超声蜂窝切割的编程方法研究主要针对关键控制命令实现、加工操作定义、加工刀位轨迹的仿真、刀具规范化定义等方面,通过定制编程环境、规范编程参数调用,形成独特的超声加工编程方法。

2.1 关键控制命令实现

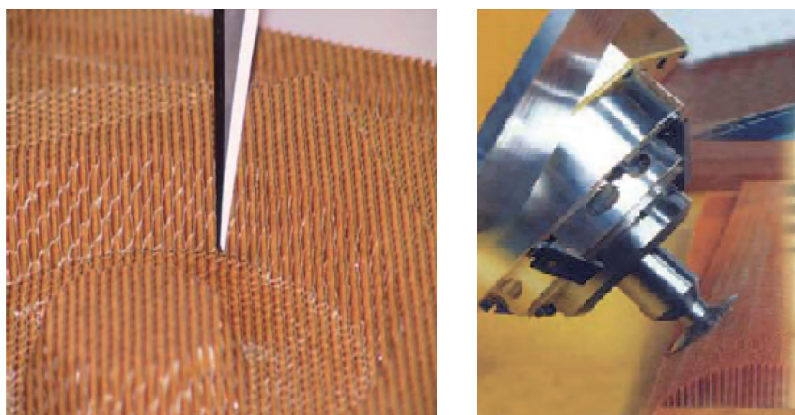
针对超声加工主要的控制有:主轴旋转方向控制、*B* 轴定向控制、*C* 轴计算超限控制、真空平台的编程控制、超声振幅控制、加工轨迹 3D 样条插补激活控制、刀具调用控制以及其他的辅助控制等。

2.1.1 主轴旋转方向控制

主轴旋转方向控制有正旋和负旋用法,在加工过程中影响切割,尽量使刀具的旋转力向下。定义语法如下: SPINDL/1500.0 或 SPINDL/-1500.0。

2.1.2 *B* 轴定向控制

B 轴用于控制在切割过程中刀刃方向与轨迹前进方向保持一致,且在到达加工开始点时 *B* 轴已定向完成, *B* 轴定向处的轨迹方向与下一段数据的方向要控制在一定的角度; *B* 轴使用时必须在单条轨迹进刀前打开刀片旋转控制,退刀前关闭刀片旋转控制。在后处理



(a) 直刃刀 (b) 盘式刀

图2 超声切割刀具
Fig.2 Tools for ultrasonic cutting tool

中规定的控制 B 轴的关键字为 ALIGN 语句。

具体语法如下:

MODE/BLADE, ON

ALIGN/MOVE, OFF[OMIT, NEXT, ON],[DIS, FEED1, FEED2]

MODE/BLADE, OFF

2.1.3 C 轴计算超限控制

在加工过程中,和其他机床类似,也存在角度超限的问题。在机床后置提交时,如果产生“043 Linear interpolation axis out of range warning number 4”类似字样,说明在加工程序中提出超过 C 轴行程的数据,需要人工查找,并寻求解决方法。借助 ROTHED 关键字可控制 C 轴超限计算,用来定义 C 轴的初始运算角度位置,影响 C 轴超限问题的处理,但有时仍无法从根本上解决,可能需要依据实际状况解决,一般在每个单独的加工 pah 之前定义该语。具体语法如下:

ROTHED/ [AXIS, n,] ATANGL, ang [, NEUTRL] [, IPM, f] [, SAME] [, NOW]

ORIENT MMPM ROTREF NEXT

CLW

CCLW

INCR

2.1.4 真空平台的编程控制

VACCUM/ON、VACCUM/OFF 用来打开和关闭真空平台,没有使用真空平台时,不要定义该语句,否则会发生后置处理错误。

2.1.5 超声振幅控制

USONIC/ON、VALUE 用于给定超声的振幅百分比,USONIC/OFF 用于关闭超声。

2.1.6 加工轨迹 3D 样条插补激活控制

在多轴状态下,可以用 SPL3D/ON、ANGLE 命令对轨迹进行样条插补。ANGLE 表示最大允许的角度偏差,超过 ANGLE 不再进行样条插补,该语句一般定义在单个程序段的开始和结尾处,取消为 SPL3D/OFF, SPL3D 对 knife 和 desk 刀均有效。

2.1.7 刀具调用控制

LOADTL/\$ToolNo, LENGTH, \$ToolLength, DESK [PROBE, KNIFE, MILL] 用于定义刀具调用, DESK、KNIFE、PROBE、MILL 不同,后处理对刀具的解释不同。

2.1.8 其他的辅助控制

在超声应用过程中还有两点定位检测程序、三点定位检测程序、工装表面测量程序编制、三点工装定位程序 4 类使用测量头或偏差校准测量头的情况需要特定的控制指令,一般是用 CYCLE 控制(具体命令语法格式略):

(1) Fixture Registration: 用来采集工装上三点测量球获得工装的偏置数据,用于加工前的工装定位。

(2) Fixture Alignment: 用于测试工装当前定位是否发生变化(平移、2D 旋转特性)的程序。可单独使用,也可放在单独的加工程序首部。

(3) Trolly Check: 用于测试工装当前定位是否发生变化(平移、2D 旋转、3D 倾斜)的程序。可单独使用,也可放在单独的加工程序首部。

(4) Tooling Measurement: 用于测量工装的表面质量。

2.2 刀具规范化定义

将该机床所用的刀具按种类(分为测头、desk 刀、knife 刀)在 CATIA V5 软件中建立典型刀具库,在编程时可以准确调用、减少出错、提高工作效率。

2.3 CATIA V5 平台中编程加工操作定义

在 CATIA V5 平台上,使用 CATIA V5 的编程策略(如曲面加工、轮廓加工、倒角加工等策略)能够满足常规的蜂窝切割要求。

(1) 建议 knife 刀普通切碎加工角度偏转 tilt 和 leading angle 均为 30° 左右,侧刃切边时 leading angle 为前倾 30° 左右,并需根据加工产品的复杂程序综合考虑; Desk 刀在切平面时 leading angle 为前倾 5° 左右。

(2) 关键控制命令基本可以在操作定义过程中的宏路径中通过定义一系列宏命令语法实现,调用时根据类型情况调用;包括进刀宏命令、退刀宏命令、与当前宏命令配合使用的控制关键字定义等),分别在 CATIA 宏知识库和 PPTable 表中实现。在每条加工路径上都可以实现灵活、精确的宏指令定义调用及增改,简化编程人员编程方式。

(3) 针对不同类型的加工操作形成典型的加工操作模版,不同的刀具要求,程序控制要求使用不同的模版,简化操作定义,指令序列规范、准确。

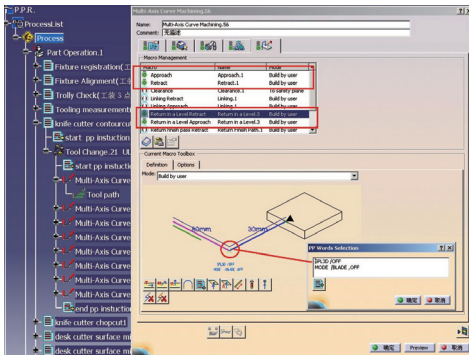
与加工操作定义相关的宏命令定义、刀具调用、测量程序编制、切割程序编制应用示例如图 3 所示。

2.4 加工刀位轨迹仿真、切割分析

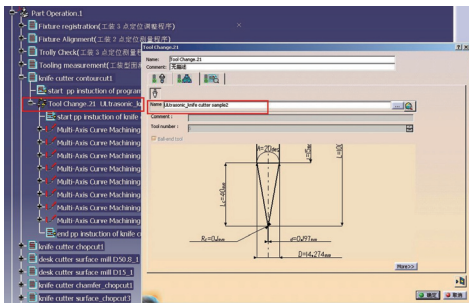
通过 CATIA V5 数控编程及仿真分析功能,能够有效满足蜂窝加工的编程验证要求。

3 总结

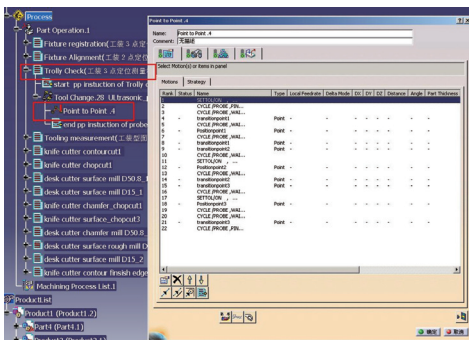
RMT-50 超声切削设备是中航工业哈飞在国内首次引进用于航空复合材料及蜂窝材料加工的先进数控加工设备,本研究课题结合超声蜂窝切割特殊的真空吸附方法、粘接夹持方法以及切割刀具、切割工艺参数等新工艺,针对该机床的后处理要求,开展了基于 CATIA V5 软件的超声切割机床的编程技术研究,搭建了灵活、



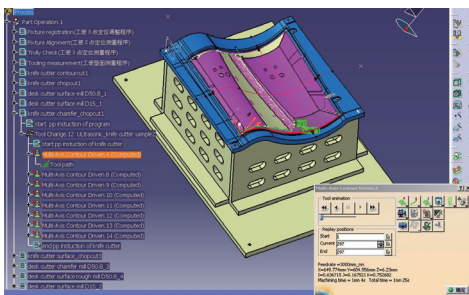
(a) 宏命令调用



(b) 刀具调用



(c) 测量程序编制



(d) 切割程序编制

图3 CATIA V5 中编程定义示意图

Fig.3 Programming definition diagram in CATIA V5

高效的数控编程环境,形成了系统、规范的编程方法,提高了蜂窝加工能力,对其他航空制造企业中引进和消化吸收此先进加工技术具有一定的借鉴作用。

(责编 小城)

(上接第 78 页)

频率的位置。

如图 5 所示为速度控制器自适应调节示意图。其中 P 为直线液压伺服驱动速度控制器比例增益, D 为直线液压伺服驱动速度控制器微分时间, f 为液压驱动的自然频率。图 5 (a)、5 (b)、5 (c) 分别是直线液压伺服驱动速度控制器比例增益、直线液压伺服驱动速度控制器微分时间、液压驱动的自然频率与活塞位置的关系曲线。

按图 5 进行速度控制环 PID 参数的调节:

(1) 比例增益 P 调整。

当伺服阀的固有频率远远高于液压驱动的自然频率时,比例增益 P 的设定值要大于 0。首先去掉 PID 的积分项和微分项,使 PID 为纯比例调节,使系统稳定。在输出无振荡时,由 0 逐渐加大比例增益 P ,直至系统出现振荡;再反过来,把比例增益 P 逐渐减小,直至系统振荡消失,记录此时的比例增益 P ,比例增益 P 为当前值的 60%~70%。

(2) 积分环节 I 调整。

积分环节应用于考虑静摩擦力的情况下,抑制位置控制操作及零速时由静摩擦引起的机床移动。采用比例和积分组合,相当于使系统具有一个含有固定部分和逐渐增大部分的放大倍数,因而既能减小误差,提高响应速度,又不出现振荡。通常利用比例和积分之组合就能使系统性能达到要求。调整积分环节时从高值开始逐渐减小积分时间 T_I 直到找到最佳的折衷。

(3) 微分环节 D 调整。

当伺服阀的固有频率高于液压驱动的自然频率时,设置微分时间 T_D 大于 0,微分环节可抑制控制系统的振荡。大型旋压机多为大惯量负载,可利用微分环节提高系统的响应速度。逐渐加大微分时间 T_D ,直至系统出现振荡;再反过来,把微分时间 T_D 逐渐减小,直至系统振荡消失,记录此时的微分时间 T_D ,设定 T_D 为当前值的 60%~70%。

综上,通过对系统增益及速度控制环的自适应调节,可以有效地抑制液压系统的振荡,系统性能稳定可靠,动态精度和响应速度都有了可靠的保证。

2 结论

本文重点叙述了数控控制的液压驱动的随动速度响应问题、位置闭环随动问题、从控制的角度完成了驱动的稳定性和可靠性问题的协调,同时我们成功地完成了大型立式旋压机的试旋,监控的数据在可控范围之内。

(责编 良辰)