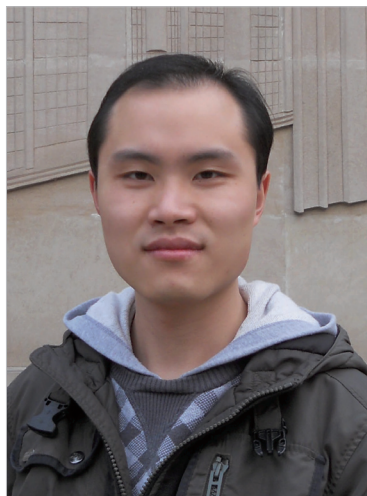


面向 MBD 的数控加工工艺 三维工序模型技术研究

Research on Three-Dimensional Process Operation Model in NC Machining for Model Based Definition

西北工业大学机电学院 唐健钧 贾晓亮 田锡天 耿俊浩



唐健钧

西北工业大学博士研究生,研究方向为制造业信息化、CAPP 等。

本文在分析面向 MBD 的复杂零件数控加工工艺设计过程的基础上,对面向 MBD 基于 DELMIA 的数控加工工艺三维工序模型技术进行了研究。

信息量巨大,这些数据也能按照需求进行分类管理和显示。MBD 技术以三维标注技术为基础,数字化制造软件巨头,如 Dassault, Siemens, PTC 等,已经在他们的产品中对三维标注技术进行了支持,这样就可以在产品全生命周期中建立完整的 MBD 模型,使 MBD 模型作为产品全生命周期的唯一依据成为现实。

目前,在复杂产品制造行业,如航空、汽车行业等,基本实现了设计三维化,设计端向工艺端发放的只有三维模型、公差、配合关系以及材料等信息。随着三维标注技术的逐步成熟,现在波音公司的 787 项目以及中国的大飞机项目都已经在产品设计阶段应用了 MBD 技术,设计端向下游发放三维设计模型^[4](文中提到的所有三维设计模型和三维工序模型都是基于 MBD 技术)。然而,现在的数控加工工序设计还在沿用传统的基于二维图纸的设计方式,因

此,随着三维设计制造技术以及先进制造装备的发展,现有数控工艺准备过程存在以下不足:

(1) 现有的工艺准备过程无法直接利用产品三维模型及其工程信息,仍然采用二维图纸和工艺指令的方式进行。

(2) 不能利用先进的仿真手段进行验证,也不能直接将工艺设计结果传送给先进的制造装备。

(3) 工艺设计过程主要依靠工艺人员本人的经验,不能有效利用专家级的工艺知识。

(4) 设计与制造的协同性不强,影响生产效率和交货周期。

面向 MBD 的数控加工工艺设计方法引入 CAD/CAPP/CAM 集成^[5]的思想,通过并行设计、数控仿真等手段,实现以三维设计模型为唯一数据来源^[6]的工艺决策和三维工序模型的创建。三维工序模型将作为指导生产活动的唯一依据,并且可以直接用

MBD (Model Based Definition, 基于模型的定义)是一个用集成的三维模型来完整表达产品定义信息的方法,它以三维标注技术^[1]为基础,详细规定了三维模型中产品尺寸、公差等的标注规则和工艺信息的表达方法^[2]。基于 MBD 技术的三维模型在设计、工艺、制造、检验、销售、维修等全生命周期中的每个阶段被赋予本阶段的相关数据^[3],这些数据能很好地实现继承和共享,并且由于

于数控编程,从而解决了数控加工过程存在的上述问题。本文在分析面向MBD的复杂零件数控加工工艺设计过程的基础上,对面向MBD基于DELMIA的数控加工工艺三维工序模型技术进行了研究。

面向MBD的数控加工工艺业务分析

目前,复杂产品设计基本实现三维化,并在应用MBD技术方面取得进展。然而,数控加工工艺设计还停留在以二维图纸为基础的阶段,不能体现CAD/CAPP/CAM集成化思想,影响企业生产,并且无法实现无试制一次加工成形。为此,在数控加工过程中引入MBD的概念,分析了面向MBD的数控加工工艺业务流程,并提出将MBD技术用于三维工序建模,形成三维工序模型的观点。复杂零件的数控加工工艺过程产生的一系列三维工序模型以及数控程序将作为工艺设计的结果,通过三维浏览或输出技术文件的方式指导生产。面向MBD的数控加工工艺业务流程(见图1):

(1)假定工艺设计输入的是三维设计模型,并且完成工艺方案设计和工艺路线制定,如加工阶段的划分(粗加工、半精加工及精加工等),加工工序的划分(工序集中或工序分散),确定需要采用数控加工的零件或者零件的部分工序。

(2)加工工序设计。对零件设计模型或工序模型进行分析,选择数控机床,建立加工坐标系,结合零件定位基准确定夹具方案。

(3)加工操作定义。对每道工序分析加工特征,为每个待加工特征选择加工方法(车削、铣削和钻削等),定义加工的几何参数(特征轮廓、加工余量等)、刀具参数(刀具类型、公称直径、圆角半径和长度等)和进给率(进给速度、切削速度、退刀速度和主轴转速等)。

(4)三维工序模型创建。根据

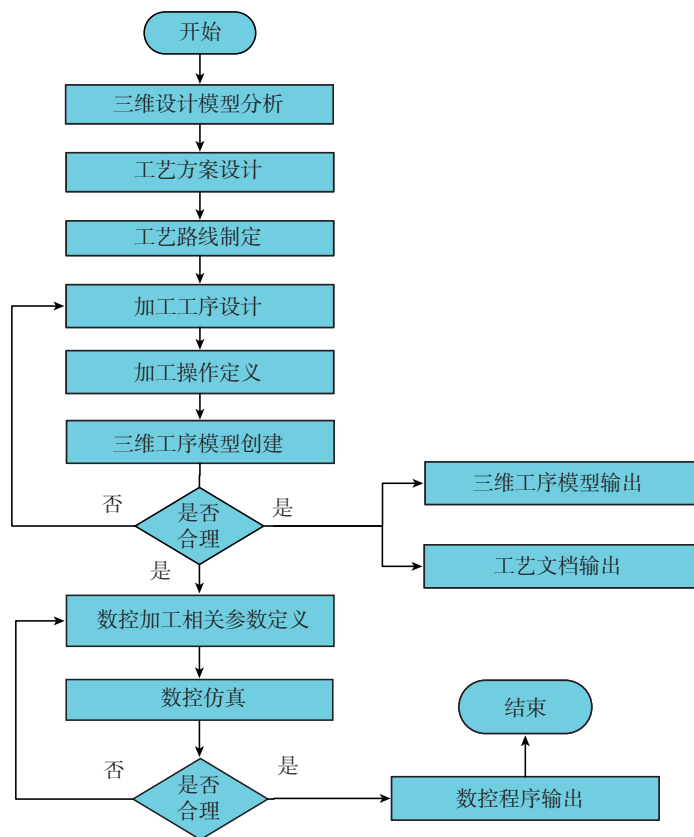


图1 面向MBD的数控加工工艺业务流程

每道工序的加工操作,生成该工序加工后的三维模型。应用三维标注技术,结合加工工艺表达方法,在每个三维模型上将该工序的加工工艺信息完整、清晰地表达出来。

(5)数控加工相关参数定义。对每个加工操作进行刀具路径参数(切削类型、方向和刀具补偿等)定义和进刀/退刀路径定义。

(6)数控仿真。通过生成刀具路径及控制刀具运动查看数控加工相关参数的定义是否合理。

(7)三维工序模型输出、工艺文档输出、数控程序输出。

面向MBD的数控加工工艺三维工序模型

1 面向MBD的数控加工工艺三维工序模型定义

三维工序模型是指工序加工后形成的带有能够指导本工序加工的完整工艺信息的集成化的三维数字

化实体模型。

完整的数控加工工艺由多道数控工序组成,相应地有多个三维工序模型,所有的三维工序模型以一个装配体的形式输出,这个装配体是定义的核心和基础,它详细描述了数控加工的加工顺序、三维工序模型的几何形状特征、工序的注释和属性等特征,如图2所示。

在面向MBD的数控加工工艺设计过程中,假设有 n 道工序,就会产生 n 个三维工序模型,三维设计模型、三维工序模型、毛坯模型以及工序的关系如图3所示。毛坯模型通过第1道工序依据三维设计模型形成三维工序模型1,同理,三维工序模型 $n-1$ 通过第 n 道工序依据三维设计模型形成三维工序模型 n 。三维工序模型 n 有与三维设计模型相同的三维几何形状特征,但所包含的描述信息不同,三维工序模型 n 包含第 n 道工序的工艺信息,而三维设计

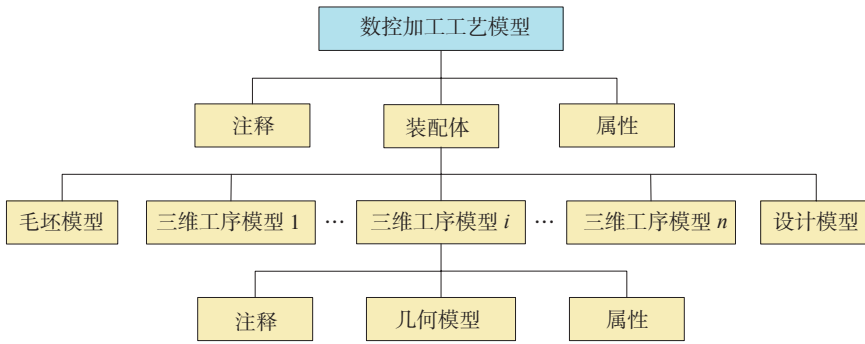


图2 面向MBD的数控加工工艺模型数据组织

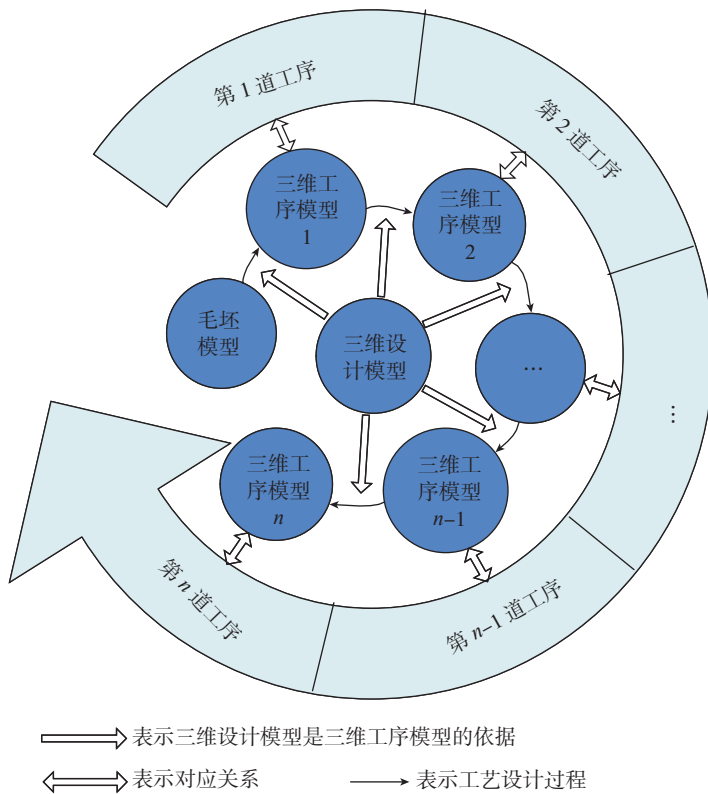


图3 三维设计模型、三维工序模型、毛坯模型以及工序的关系

模型包含产品信息。

2 面向 MBD 的数控加工工艺三维工序模型数据

数控加工工艺三维工序模型数据指在数控加工工艺设计过程中的某道工序描述的几何形状信息和工艺过程信息的数据总和。

三维工序模型通过几何模型、注释和属性完整地描述本道工序的加工工艺信息。几何模型描述本道工序加工形成的几何形状及加工特征；注释数据描述工序加工尺寸与公差

范围、工装和精度要求等生产必须的工艺约束信息；属性数据描述产品的原材料规范、分析数据、加工操作信息、测试需求等内置信息。三维工序模型数据如表 1 所示。

3 面向 MBD 的数控加工工艺三维工序模型建立

3.1 IPM 的建立

要建立三维工序模型需要先创建在制品毛坯模型(In-Process Model, IPM), IPM 的创建方法有修订式和创成式两种。数控加工工艺

都采用渐进的方式,每道工序只对部分加工特征进行加工,所以前后两道工序的 IPM 存在一定的相似性。修订式的建模方式就是利用这种相似性,通过继承、布尔运算(主要是移除)、参数修改等方式创建 IPM。某些 IPM 中存在复杂型面的创建,而这些复杂型面通过简单的继承、移除、参数修改等操作很难实现,或者是不能满足精度要求,就需要使用创成式的建模方法,即直接通过三维建模软件来创建,但是工作量大,对工艺人员要求高。如图 4 所示为三维工序模型建立流程。

修订式 IPM 是通过前一工序的 IPM 进行修改而形成的,具体可以通过顺序和逆序两种方式建立。顺序方式,即按照加工顺序,从毛坯一步一步形成零件的过程,该过程主要通过继承和正则布尔运算实现;逆序方式,即将设计模型反补形成毛坯的过程,该过程通过继承和加工特征修改或删除实现。

假设, M_p 代表零件模型, M_s 代表毛坯模型, IPM_i 代表第 i 道工序的工序模型, F_{ij} 代表第 i 道工序切除的第 j 个加工体积特征, n 代表工序总数, S_i 代表第 i 道工序加工的体积数。

顺序方式 IPM 建立过程可以表示为:

$$IPM_1 = M_s; IPM_i = IPM_{i-1} - \sum_{j=0}^{S_i} F_{ij}$$

($i = 2, 3, \dots, n - 1$)。

逆序方式 IPM 建立过程可以表示为:

$$IPM_i = M_i; IPM_{i+1} = \sum_{j=0}^{S_i} F_{ij}$$

($i = n - 1, n - 2, \dots, 1$)。

由此公式可以看出,在设计零件模型 M_p 和毛坯模型 M_s 都已知的情况下建立 IPM,需要确定的是第 i 道工序切除的第 j 个体积特征 F_{ij} ,即加工操作定义的区域特征。

这里采用修订式顺序方式逐一创建 IPM。通过对每道工序中所有

表1 三维工序模型数据分类表达汇总

信息名称	信息来源	与几何模型有无关性	表达方法
X、Y、Z 坐标轴	三维设计模型	关联	系统默认
XY、YZ、ZX 坐标平面	三维设计模型	关联	系统默认
三维实体模型	工序建模	关联	几何模型
工序信息	工艺过程规划	无关联	属性
建模说明	工艺过程规划	无关联	属性
版本信息	历史版本信息	无关联	属性
批准信息	企业标准	无关联	属性
材料牌号	设计模型	无关联	属性
设备型号	工艺过程规划	无关联	属性
工时	企业标准	无关联	属性
切削液	工艺过程规划	无关联	属性
背吃刀量	工艺过程规划	无关联	属性
进给量	工艺过程规划	无关联	属性
切削速度	工艺过程规划	无关联	属性
主轴转速	工艺过程规划	无关联	属性
进给速度	工艺过程规划	无关联	属性
刀具信息	工艺过程规划	无关联	属性
刀具补偿	工艺过程规划	关联	属性
夹具偏置补偿	工艺过程规划	关联	属性
走刀路线	工艺过程规划	关联	属性
对刀点	工艺过程规划	关联	属性
换刀点	工艺过程规划	关联	属性
加工顺序	工艺过程规划	关联	属性及标注
尺寸	工艺过程规划	关联	标注
公差	工艺过程规划	关联	标注
基准	设计基准	关联	标注
表面粗糙度	三维设计模型	关联	标注
定位夹紧	工艺过程规划	关联	标注
加工面	工艺过程规划	关联	颜色区分

加工操作的定义,建立本工序的加工区域特征的 B-rep 模型,再通过上述公式建立 IPM。

假设已得到 IPM_{m-1} , 要建立第 m 道工序的工序模型 IPM_m , 需要求得 $F_{mj}, j=0, 1, \dots, S_m$ 。

通过对第 m 道工序的第 j 个加

便可求的 IPM_m 。

3.2 三维工序模型的建立

面向 MBD 的数控加工工艺三维工序模型的建立是指在建立 IPM 的基础上,通过一定的表达方法将加工工艺信息展示在三维环境中,并建立一定的规则对加工工艺信息进行显

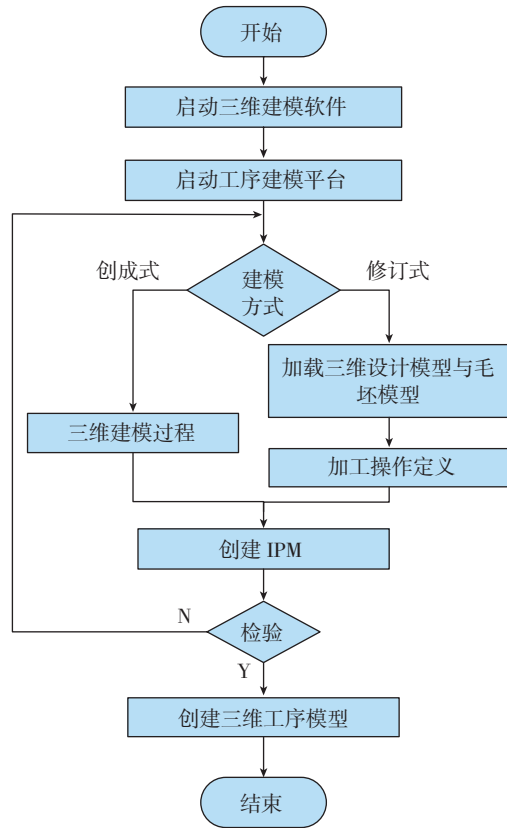


图4 三维工序模型建立流程

工体积特征的加工类型进行定义,确定边界信息的邻接关系模型,再根据该邻接关系模型定义特定的边界信息(面、环、边和顶点)便可得到 F_{mj} , 由顺序方式 IPM 建立的公式

示控制,使工作人员认识和了解工艺设计的意图、方法和过程,为使用三维工序模型提供一个良好的入口。

(1) 信息表达。

信息表达是将非几何制造信息准确、清晰地表达在三维环境中,并保证数据的完整性和唯一性。非几何制造信息的表达方法有属性表达法和标注表达法。

属性表达法是将特定类型的文本信息放入定制的属性项中形成一条属性,将所有属性项用属性结构树表示,属性信息可以以定制的表格形式显示。属性表达法适用于与工序模型几何特征没有关联的非几何制造信息的表达,在描述工序模型的非几何制造信息时,刀具信息、工序管理类信息、建模说明类信息、批准发放类信息、技术要求类信息等都适合用属性表达法来表达。

标注表达法是借助特定符号或文本将非几何制造信息表达在三维

