

基于MBD的汽车零件制造模型研究

周临震¹, 陶杰², 王岳森³

- (1. 盐城工学院 优集学院, 江苏 盐城 224051;
2. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013;
3. 南京理工大学 机械工程学院, 江苏 南京 210094)

摘要: MBD技术是数字化制造领域的新趋势, 在剖析MBD技术和零件制造工艺过程的基础上, 结合实例研究了汽车零件制造模型的PMI构成, PMI在三维实体模型中的表达, 以及零件制造过程模型的构成特点。提出了零件制造模型的PMI定义和工序模型框架, 为汽车零件基于MBD技术的数字化制造提供了解决思路。MBD技术的应用, 将改变传统的生产体系, 实现数字化技术由汽车零部件设计向制造过程的延伸。

关键词: MBD; PMI; 零件制造模型; 数字化制造

中图分类号: TH164

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2013)02-0045-06

随着计算机技术的迅猛发展, CAD技术的应用不断深入推进, 数字化制造技术正推动现代生产技术的深刻变革。三维实体建模技术已是产品研制中的基本手段, 最初的产品设计阶段已经实现了数字化。但是三维实体模型存在两个弊端, 一是仅体现产品的几何信息, 没有囊括生产当中所需的材料、加工工艺等产品制造信息, 不能为零件的数字化制造提供数字化信息; 二是实体模型是产品的最终状态, 不反映零件在制造过程中由毛坯到成品件之间的状态变化, 阻断了数字信息在制造过程中的传递。

为了满足数字化制造的需求, 基于模型的定义(MBD, Model Based Definition)技术作为CAD的一种趋势应运而生, 并得到越来越多的应用。到目前为止, 波音787是全面应用MBD技术的唯一案例, 在研制787客机过程中, 波音公司将787项目的数字化环境改为全新的全球协同环境(GCE, Global Concurrent Engineering)平台, 基于网络建立了关联的单一数据源的核心流程和系统框架^[1]。MBD技术应用的推进, 航空工业是最初最有力的引擎。鉴于MBD先进的生产管理理念和管理方式, 世界各大主要汽车制造商也相应地开展了MBD技术的应用研究。以丰田公司为例,

2004年, 丰田汽车旗下的运动汽车部门, 丰田赛车实施无图纸计划。该计划宣布, 引擎零部件的设计、制造和检测工作全面在数字化环境下展开^[2]。

目前对于MBD制造模型的研究涉及诸多方面, 模型状态、内容、管理、定义方法等。从宏观来看, 对于MBD制造模型的认识并不统一。文献[3]研究了面向工艺链的零件制造模型框架, 给出了模型信息表达方法, 控形节点的数据组织和制造模型定义过程。文献[4]分析了飞机钣金零件多态模型, 建立了SFED层次模型结构。文献[5]应用特征技术对汽车组件的中间件进行几何信息建模。文献[6]针对产品的设计制造, 提出了产品全生命周期制造信息模型。我国对于MBD技术的应用研究仅处于起步阶段, 尽管国内航空工业在波音公司的GCE平台下研究并了解了部分MBD技术, 并大力推广该技术的应用, 但是与国外发达航空企业之间依然存在巨大差距。本文通过对MBD技术的研究, 结合汽车制造的特点, 研究了MBD条件下汽车零件制造模型。

1 零件制造工艺过程分析

机械加工工艺过程是由一个或多个依序排列

收稿日期: 2013-05-20

作者简介: 周临震(1976-), 男, 江苏东台人, 副教授, 博士生, 主要研究方向为CAD、CAM。

的工序构成,工序是工艺过程的基本组成部分。当工序加工表面较多时,工序又可分为若干个工步。工序是一个或一组工人,在一个工作地对一个或几个工件连续完成的那一部分工艺工程;工步是指在加工表面,切削用量和加工工具不变的情况下,连续完成的那一部分工序。在机械加工工艺过程中,针对零件的结构特点和技术要求,采用不同的加工方法和装备,按照一定的顺序依次进行加工来完成由毛坯到零件的过程。以整体锻造的发动机连杆为例,其典型的制造工艺过程包含 27 道工序,简化后的主要工序过程为:铣连杆大小头两端面、钻小头孔,拉小头孔,并保证尺寸值和表面粗糙值、铣大头定位凸台、从连杆上铣下连杆盖、镗连杆盖螺帽凸台,钻螺栓孔,并加工螺纹、将连杆盖和连杆用螺栓固定,精镗大头孔^[7,8]。零件工艺过程中,物料随着空间位置的改变,表现为零件形状和性状的改变。工序可以分为工步、进给、安装和工位。安装和工位对应着空间位置的变化,进给对应着形状的变化,此外热处理和表面处理对应性状的变化。零件制造过程中,每一次空间位置、形状和性状的改变均包含所使用的设备、工艺装备、技术要求以及操作方法的描述。

2 MBD 零件制造体系的内涵

MBD 所支持的数字化制造,是虚拟和现实的对应联系,相互转化和衍生的关系,其实质是数字化定义制造模型,工艺流程及工装设备三类制造要素,再以数字量信息的传递驱动实际材料加工的过程。

若将实际制造系统抽象成实际物理系统 RPS (Real Physical System)、实际信息系统 RIS (Real Information System)、实际控制系统 RCS (Real Control System) 3 个子系统,则实际制造系统可以表示为:

$$RMS = \{RPS, RIS, RCS\}$$

RPS 包括所有制造物理实体,如机床、材料、夹具、机器人等;RIS 包括信息处理和决策,如调度、计划;RCS 负责信息交换。

由 MBD 的实质可知,可以将实际制造系统映射为基于 MBD 的数字制造系统,即虚拟和现实的对应联系,并借鉴虚拟制造的思想,数字制造系统可以抽象成数字物理系统 DPS (Digital Physical System)、数字信息系统 DIS (Digital Information

System)、数字控制系统 DCS (Digital Control System) 3 个子系统,因此 MBD 数字化制造系统可以表示为:

$$MBDDMS = \{DPS, DIS, DCS\}$$

零件制造模型的数字产品制造信息 PMI (Product Manufacturing Information) 既包含机床、材料、夹具等数字物理系统信息,又包含计划、制造要求等数字信息系统信息,即 PMI 整合了 DPS 与 DIS,可以表示为:

$$PMI = \{DPS, DIS\}$$

MBD 数字化制造系统又可以表示为:

$$MBDDMS = \{PMI, DCS\}$$

其中 PMI 是零件制造模型的制造信息数字化定义,以三维模型为核心集成产品制造信息,是实施基于 MBD 零件制造的关键。

3 基于 MBD 的零件制造模型

3.1 制造模型的 PMI 构成

MBD 制造模型以零件设计模型为基础,为数字化工艺设计和工装设计提供依据,以数字量来表达工艺流程及工装设备,定义相互紧密联系的工序件。在综合考量零件的生产纲领和现有生产条件的基础上,拟定工艺路线,制订出零件由粗到精的全部加工工序,制订指导零件生产的数字化模型,并定义 PMI 信息。表 1 所示为基于 MBD 的零部件 PMI 信息。

表 1 基于 MBD 的零部件 PMI 信息

Table 1 PMI information of part based on MBD

类型	说明
Dimensions	尺寸
Geometric Tolerancing	几何公差
Supplemental Geometry	补充几何
Annotations	注释
Specialized PMI	专用信息
Security Marking	安全标记

零件制造模型 PMI 数据包含表 1 中的 6 种类型,每一种类型对应一种特定的产品信息,某些类型下又分成若干个小类,共同构成零件制造信息。在 NX 软件中,气囊支座铸造模型产品制造信息有序组织在部件导航器中,如图 1 所示。气囊支座 PMI 数据模型如图 2 所示。

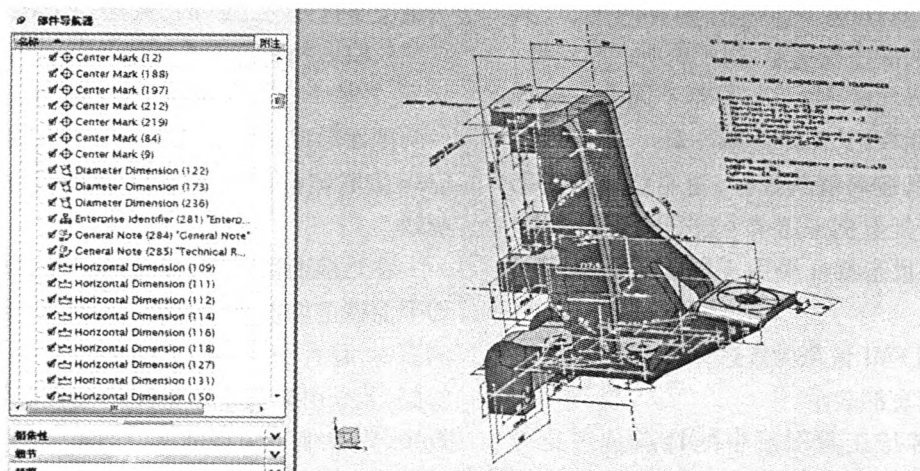


图 1 气囊支座铸造模型
Fig. 1 Bearing casting model of airbag

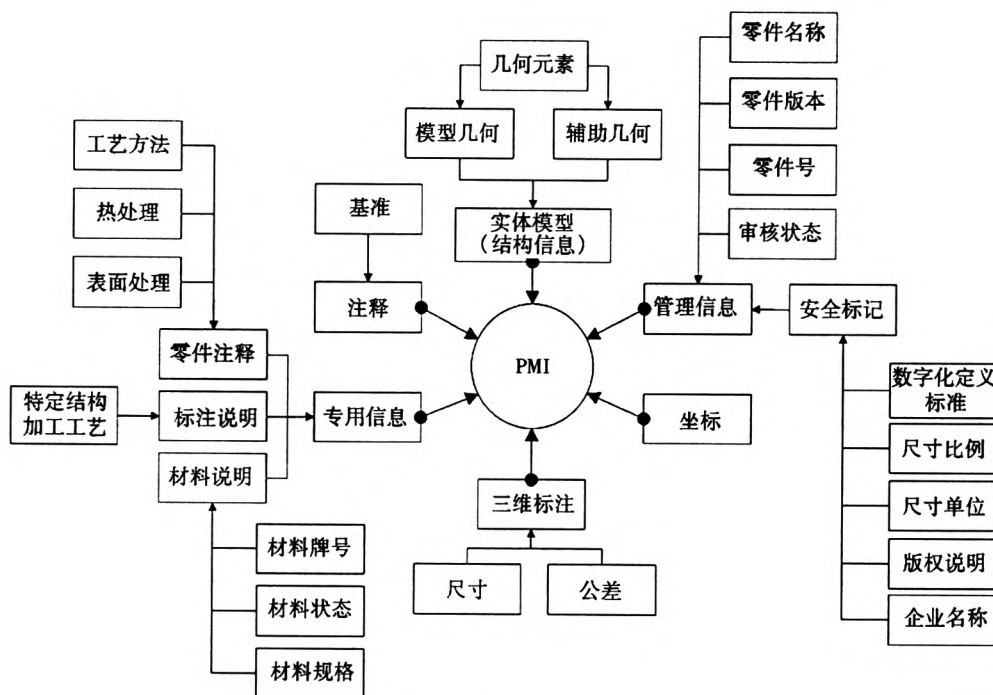


图 2 MBD 气囊支座 PMI 数据模型
Fig. 2 PMI data model of airbag bearing model based on MBD

补充几何 (Supplemental Geometry) 包含 PMI 区域、中心标记和 3D 中心线。中心标记及 3D 中心线用来标记圆柱、孔一类的面中心或体中心位置,表达零件几何结构;PMI 区域标记零件上需要特殊加工的区域。补充几何属于非文本信息。

注释 (Annotations) 由文本组成,描述零件加工过程中的特征控制,包含基准特征、基准目标、表面粗糙度以及焊接符号等。基准特征用以制定在加工过程中如何定位部件;基准目标用于建立

基准参考平面。注释由设计人员给出,在认定可制造的前提下,在 PMI 集中数据中给出制造要求的信息。

专用信息 (Specialized PMI) 包含特定注释、企业标识、材料规格、部件标识和工艺说明。关联到零件的孔注释、硬度要求、原材料、热处理、表面处理以及使用的机床、夹具等,是对材料加工过程和经加工后性状要求的说明。企业标识仅对产品所属公司的信息进行描述,不对零件本身进行描述。

安全标记(Security Marking)包含两类,政府安全信息和公司所有权信息,用于说明产品类型、授权系统以及导出控制类型,限制不同人员对于产品模型的使用权限,保护信息安全。

PMI 信息具有高度集成性,为避免数据冗余和重复,共性特征数据采用单个数据模型来表达,各工序件的分状态特征采用不同的数据模型来表达。

3.2 制造模型 PMI 信息的表达

• 3.2.1 几何信息的表示

GD&T 在传统工程图纸中的特点是多元分散,在 MBD 条件下表现为单一集成,核心是三维数模,特点是二维多视图产品结构尺寸信息在数字化 PMI 定义下的同平面集成表示。PMI 定义始终遵循直观的原则,在二维工程图中,气囊支座的凸台部分用一个正视图和一个俯视图表达凸台的长宽以及螺纹孔与凸台两边的位置关系,如图 3 所示。NX 平台中,凸台 PMI 定义的尺寸应落在被标注实体平面内,同一平面内的结构尺寸非特

殊情况下优先考虑共面,从同一个视图角度即可直观获取形状和位置关系以及公差信息。PMI 定义下,数值 100 不仅直接反应凸台宽度值,也与凸台两侧面形成关联关系。当选中尺寸值,视觉反应是关联侧面的高亮显示,制造信息获取直接明晰。

在二维工程图中,相交剖切面表现为相交剖切平面在正立投影面的旋转投影;气囊支座 A-A 剖面中,垂直于剖面的方向上存在一个边倒圆的斜面,若采用类似于二维图的剖面旋转投影视觉效果,MBD 制造模型剖视中的单一剖切平面会对斜面产生斜剖的效果,圆弧被描述为抛物线,倒圆边处的半径尺寸会出现失真现象。PMI 定义遵循直观原则的同时,也遵循真实原则。如图 4 所示,是气囊支座 A-A 剖视图的三维剖视效果,利用两相交剖切平面,垂直于实体对象剖切,真实准确反映气囊支座剖切面的尺寸、形状、结构以及两个被剖切部分的真实位置关系,保证正确的倒圆边半径尺寸和其他圆弧尺寸。

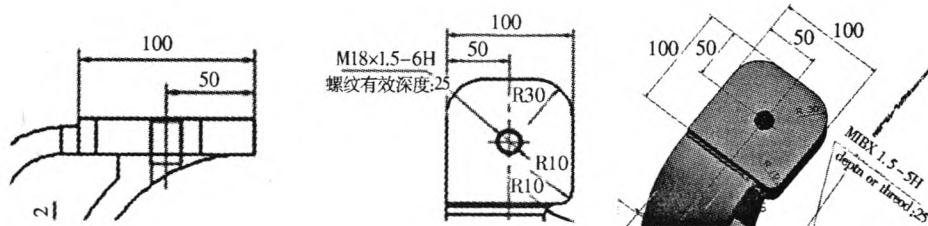


图 3 PMI 中 GD&T 的表达方法与传统制造图纸的比较

Fig. 3 Comparison of the expression of PMI GD&T and traditional manufacturing drawings

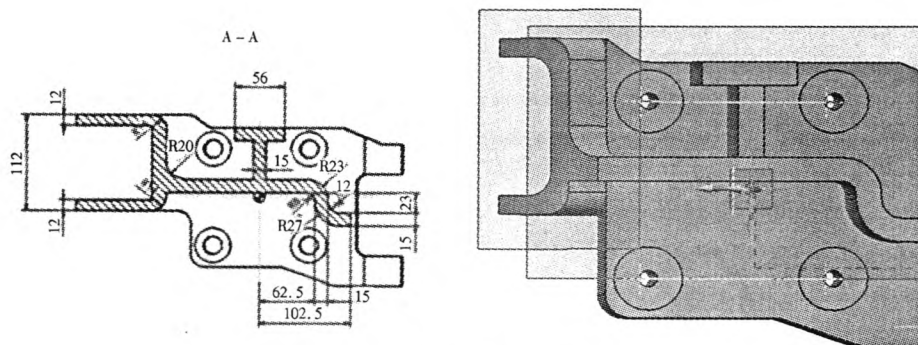


图 4 PMI 相交剖切面的表达

Fig. 4 Expression of PMI cross section

3.2.2 非几何信息的表示

非几何信息分为两类,一类与几何体特征相关联,例如特定的几何结构特征;另一类则与几何

特征不关联,例如安全标记,零部件版本等。图 5 中,M18 细牙螺纹属于气囊支座特定几何特征元素,需要使用专用信息说明其基本偏差和螺纹有

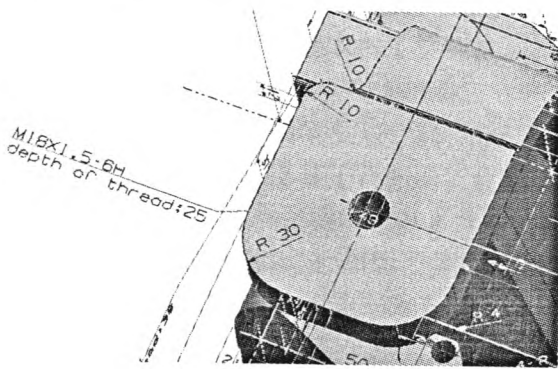


图5 螺纹孔注释表达

Fig.5 Expression of the threaded hole notes

效深度,并与螺纹特征元素保持关联关系。这种关联关系的表达通过指引线来实现,当选中该注释后,视觉效果为关联螺纹特征元素的高亮显示。该特征以简化级表示,简化级表示对外螺纹的小径和内螺纹的大径不建模或不显示。

零件名称、定义标准说明、企业信息、技术要求均属于不关联气囊支座实体的文本信息。此类非几何信息,不描述零件具体几何结构特征,而是对整个零件进行描述,因此不需要进行对象的关联,但局部注释应与其应用的模型特定数据元素相关。注释和专用信息表达适合于所有文本和符号表达类的非几何零件制造信息。

3.3 MBD 制造模型

基于 MBD 的汽车零件制造总的思路是在 PLM 基础上,采用三维工序模型和模型上的 PMI 来表达下游部门(数控加工、计量、检验等部分)需要的所有工艺信息的方法。直观的 3D 表达方式,能够准确反映制造信息,颠覆了传统的 2D 工艺卡片模式,支持制造工艺重用和快速更改,减少下游部门(数控加工、检验、测量)大量的重复数据录入工作。

零件制造模型是相对于设计模型而言的,是对零件生产工艺过程中工序信息的描述。零件产品模型使用单个三维数模即可表达,工艺链中的工件模型需依据工艺规程,根据工序和工步的划分,建立不同的几何模型。

根据零件制造工艺过程分析和所涉及的 PMI 信息,结合 MBD,零件制造模型实质上是制造过程中每个状态对应的 MBD 模型的集合,反映零件由毛坯到成品过程中形状和性状的变化。制造过程由多道工序构成,制造模型由多状态工序模型组成。多状态制造模型是逐步演化和相互联系

的,工序模型描述特定工序输入输出时工件的形状和性状,上一步工序的输出是下一步工序的输入,共同组成了一个相互关联的整体。汽车发动机连杆的工艺制定过程由图 6 所示。图 7 所示为连杆制造工序模型实例。

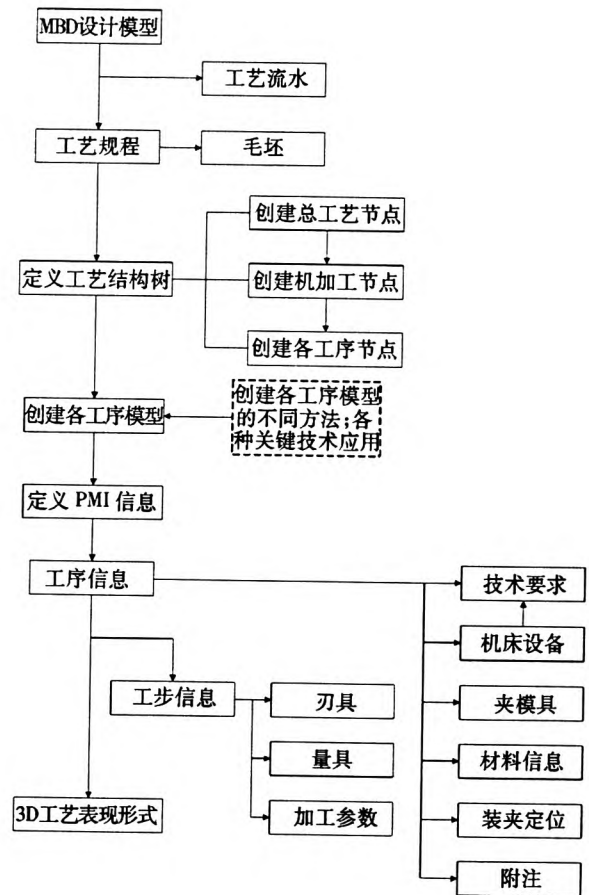


图6 基于MBD的发动机连杆制造工艺制定过程

Fig.6 Manufacturing process planning of engine connecting rod based on MBD

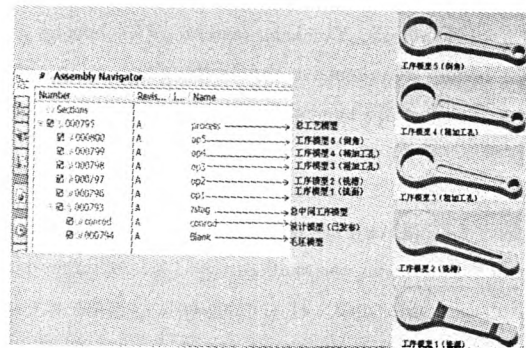


图7 连杆制造工序模型实例

Fig.7 Example of manufacturing process of connecting rod

工艺链中承载每一特定时刻制造信息的零件状态称为零件制造态,零件制造态是对工序模型的进一步细分,包括工件模型和工艺模型。工件模型描述零件经特定工序加工后的工件外形,是反映结果的静状态模型,含有工艺孔、加工余量等,以满足加工需求;工艺模型描述为获得工件模型所需的模型,综合考虑材料在加工过程中的形变而设计,是反映过程的动状态模型,用于工艺参数设计和工装设计。

4 总结

MBD 技术是数字化技术的最新发展趋势,本

文在分析零件制造工艺过程和 MBD 技术的基础上,重点研究了汽车零部件制造模型的 PMI 构成,PMI 在三维实体模型上的表达并与传统工程图纸相比较的优势,以及零件制造过程模型的组成特点,结合实例进行了分析。本文为零件制造模型的 PMI 定义和工序模型提出了初步应用框架,为汽车零部件基于 MBD 技术的数字化制造提供了思路。MBD 技术的应用,将改变原有的生产体系,实现数字化向汽车零部件制造过程的延伸。

参考文献:

- [1] 冯潼能,王铮阳,宋娅. MBD 技术在协同制造中的应用[J]. 航空制造技术,2010(18):64-67.
- [2] Virgilio Quintana, Louis Rivest, Robert Pellerin. Will Model-based Definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle A global perspective from aerospace industry[J]. Computers in Industry, 2010(61):497-508.
- [3] 刘闯,王俊彪,卢元杰,等. 面向工艺链的零件知识模型框架研究[J]. 计算机集成制造系统,2009,15(6):1 070-1 075.
- [4] 王俊彪,韩晓宁,刘闯. 面向制造的飞机钣金零件多态模型[J]. 航空学报,2007,28(2):504-507.
- [5] RAMESH M, DUTTA A, BELLUDI N, et al. Application of feature technology to modeling and dimensioning the intermediate geometry of automotive powertrain components[C] // Proceedings of the 7th ACM Symposium on Solid Modeling and Application, New York: ACM,2002:313-320.
- [6] 舒启林,王成恩. 产品全生命周期中的制造信息模型[J]. 东北大学学报,2005,26(8):774-777.
- [7] 曾东建. 汽车制造工艺学[M]. 北京:机械工业出版社,2006:244-249.
- [8] 丁柏群,王晓娟. 汽车制造工艺技术[M]. 北京:国防工业出版社,2008:47-61.

Research on Automobile Part Manufacturing Model Based on MBD

ZHOU Lin-zhen¹, TAO Jie², WANG Yue-miao³

1. UGS College, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224000, China;
 2. School of Automotive and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212031, China;
 3. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210094, China

Abstract: MBD is a new trend in the field of digital manufacturing technology. Based on MBD technology and part manufacturing process, the PMI information composition, expression in three-dimensional digital model, and the composition features of part manufacturing model was studied. The PMI definition of part manufacturing model and the framework of manufacturing procedure model were constructed. This framework provides a solution for automobile part digital manufacturing. MBD technology will change the traditional production system and extend application of digital technology from design to manufacturing process.

Keywords: MBD; PMI; Art manufacturing model; Digital manufacturing

(责任编辑:张振华)