

## 支持工艺设计的制造知识类型及层次模型\*

## Classification and Hierarchical Model of Manufacturing Knowledge

## Supporting Process Planning

西北工业大学管理学院 马春晖 同淑荣 李靖

**[摘要]** 针对工艺设计人员对大量制造知识的需求问题,分析了制造知识与工艺设计的关系,按照对工艺设计的支持作用,将制造知识分为制造资源类、制造对象类和制造过程类三大类别,建立了包括零件层、属性层和数据库层的制造知识结构层次模型,以制造设备为例,采用 IDEF1X 方法建立了支持工艺设计的制造知识表达模型。

**关键词:** 制造知识 工艺设计 产品设计

**[ABSTRACT]** The aim of this research is to classify and model manufacturing knowledge required by process planning. The relationship between manufacturing knowledge and process planning is analyzed. According to roles of manufacturing knowledge in process planning, manufacturing knowledge is categorized into three classes which are manufacturing resource class, artifact class and manufacturing process class. A hierarchical model of manufacturing knowledge is constructed that is consisted of part level, attribute level and database level. Taking manufacturing equipment as a case, an expressive model of manufacturing knowledge is set up by using IDEF1X method.

**Keywords:** Manufacturing knowledge Process planning Product design

工艺设计是连接产品设计与制造的桥梁,是设计阶段与制造过程联系最紧密的阶段,在工艺设计阶段需要考虑制造过程的多种因素,如加工方法/设备、工序能力、原材料、物流等。如果将以往制造过程中所产生

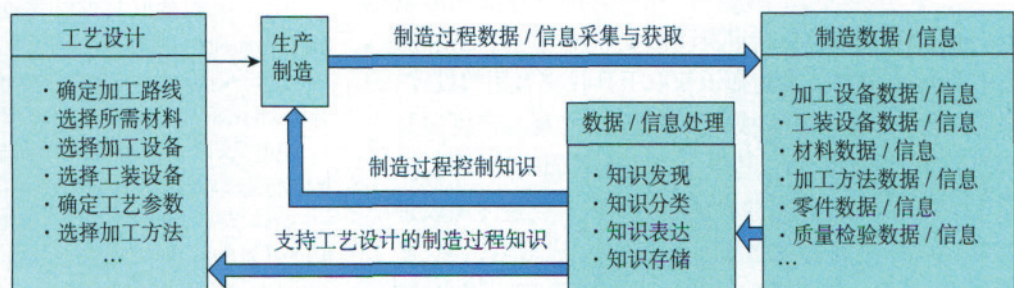


图1 制造知识对工艺设计的支持

Fig.1 Manufacturing knowledge supporting process planning

的大量知识提供给工艺设计人员,使他们能够方便地得到所需的制造知识,对提高工艺设计的效率与质量具有重要的意义。

支持工艺设计的制造知识管理研究来自工艺设计知识管理和制造知识管理 2 方面。(1) 工艺设计知识管理。典型代表是美国国家标准局(NIST)工艺过程定义语言(ALPS)和国际标准化组织 STEP 标准中的工艺计划模型(ISO STEP)<sup>[1-2]</sup>;高伟对工艺设计信息系统中的知识发现技术的研究<sup>[3]</sup>;陈彦海、狄瑞坤等对产品设计工艺设计过程建模及其并行技术研究<sup>[4-5]</sup>;张勇为和顾新建等工艺设计知识资源网络的元数据模型<sup>[6]</sup>。(2) 制造知识管理。国内的相关研究主要有杜平安等面向工艺设计的制造过程建模<sup>[7]</sup>;刘闯等面向工艺领域的制造知识系统化建模方法研究<sup>[8]</sup>。要将制造知识提供给工艺设计人员,首先需要研究制造知识与工艺设计之间的关系,根据支持工艺设计的制造知识内容,构建支持工艺设计的制造知识模型。

## 1 支持工艺设计的制造知识

### 1.1 制造知识对工艺设计的支持

在产品的制造过程中,会产生有关设备、材料、工艺、质量等大量与产品相关的制造数据或信息,这些数据和信息反映了制造过程是否能够实现设计者的设计目标与产品的质量。如果将制造过程中产生的这些数

据和信息进行有效处理并提供给工艺设计人员,可作为工艺设计决策的依据。制造知识对工艺设计的支持如图 1 所示。工艺设计人员在工艺设计中,需要确定

\* 国家自然科学基金项目(70771091,70472066),国防科技工业技术基础研究项目(Z142008A001)资助。

加工路线、零件的工艺参数,选择零件的加工设备、所需材料和加工方法等,如果在此时能够根据以往制造过程中所产生的知识对工艺设计进行有效支持,例如在确定加工路线时,考虑到制造过程中产生的质量检验信息对工艺设计的综合影响,就能更好地保证工艺设计方案的可行性,以减少不必要的返工,从而提高工艺设计质量。

## 1.2 支持工艺设计的制造知识分类

按照制造知识对工艺设计的支持关系,将制造知识分为制造资源知识、制造对象知识和制造过程知识三大类(见图2)。

制造资源知识主要包括加工设备和工装设备两大类。加工设备即各种制造设备:车床、铣床、磨床、加工中心等;工装设备即刀具、夹具、量具等。

制造对象指所需加工的零件客体,这类知识主要包括材料特征、零件特征、质量检验三大类。材料特征即材料的尺寸特征、机械性能、物理性能、化学性能、加工性能等。零件特征即零件本身的基本属性,包括零件的几何特征、形状特征、位置特征、表面质量特征等;质量检验即零件的检验结果、不合格产品统计、工序质量控制数据等。

制造过程知识主要包括制造过程参数、加工方法、制造技术标准、制造过程因素以及制造能力等。制造过程参数即制造设备的进给量、切削速度、主轴转速等。加工方法即零件在加工过程中改变其性状所使用的方法,包括各种切削加工(车削、铣削、刨削等),非切削加工(热处理、冲压、拉深成形、落压成形、滚弯成形等)。制造技术标准即加工零件所采用的标准(国际标准、国家标准、行业标准或企业标准等)。制造过程因素即人员、设备、原材料、加工方法、检验方式和制造环境。制造能力包括工序能力和生产能力。

## 2 支持工艺设计的制造知识结构层次模型

根据制造知识的层次性和相关性的特点,采用面向对象的建模方法,自上而下建立支持工艺设计的制造知识结构层次模型,把制造知识分层,每个层次都包含不同种类的知识,并且各个层次的知识相互关联,组成一个统一的整体。按照知识的抽象程度,制造知识首先针对方便工艺设计人员查询和理解的特性划分为第一层的零件层,而第二层的属性层是连接工艺设计人员和计算机的转换层,最后针对知识在计算机便于存储的特性,划分为第三层的数据库层。

(1)零件层。面向工艺设计人员,是与工艺设计人员相交互的层次,为了便于工艺设计人员的查询与理解,以已有的典型零件的方式呈现,例如零件1、零件2等。

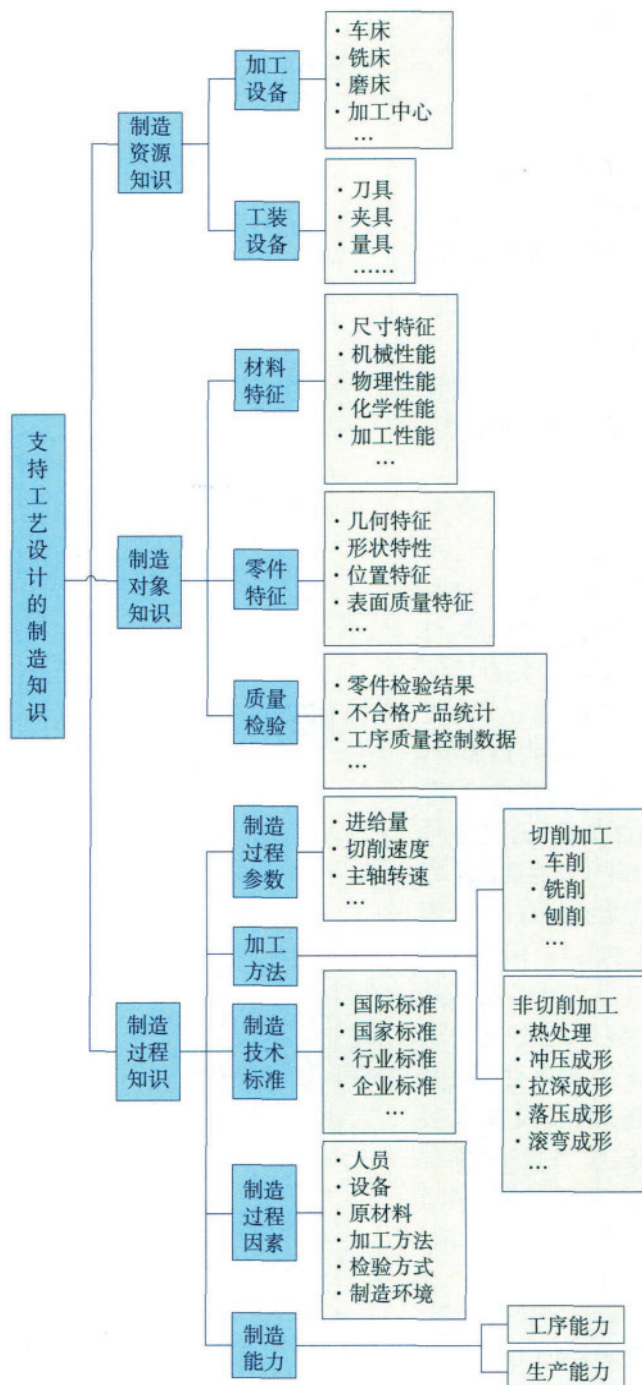


Fig.2 Classification of manufacturing knowledge supporting process planning

(2)属性层。连接工艺设计人员和计算机,是零件层与数据库层的转换层次,将零件层的典型零件以其属性的方式存储,从而与数据库层中的数据库相互连接,例如零件1的属性11、属性12等。

(3)数据库层。面向计算机存储,是整个层次模型的基础层,即知识在计算机内部的存储方式,根据属性层中零件的各个属性,连接相应的数据库,提取相应的知识,例如机床库、工装库、材料库、加工方法库、标准库等。

如图3所示,对于支持工艺设计的制造知识,按照上述的标准统一划分层次,形成支持工艺设计的制造知识层次模型。

查找所用到的相应设备的编号,再根据设备编号查找具体的设备信息。这里仅以车床库为例,根据车床编号,查找车床的具体信息,包括车床的名称、型号规格、外形

### 3 基于 IDEF1X 的支持工艺设计的制造知识表示模型

以制造设备知识为例,采用 IDEF1X 方法建立支持工艺设计的制造知识表示模型,如图4所示。

制造知识以典型零件(1)的方式呈现给工艺设计人员,并存储在典型零件库里,每个零件具有各自不同的零件编号。工艺设计人员可以根据需要,查看相应的零件,以零件1/2为例,通过零件1的编号查找到这个零件的相关信息,包括零件1的名称、用途等详细信息。再根据零件1的编号,查找它的属性知识,即零件1属性1/3,包括加工设备、工装设备、材料特征、零件特征、质量检验、制造过程参数、加工方法、制造技术标准、制造过程因素和制造能力等。根据零件的加工设备属性,查找相应的加工设备1/4,即加工设备库,用来存储制造此零件所用到的所有加工设备,包括车床、铣床、磨床和加工中心等等设备。根据加工设备库里所存储的知识分别进入车床库1/5、铣床库1/6、磨床库1/7、加工中心库1/8等设备库中

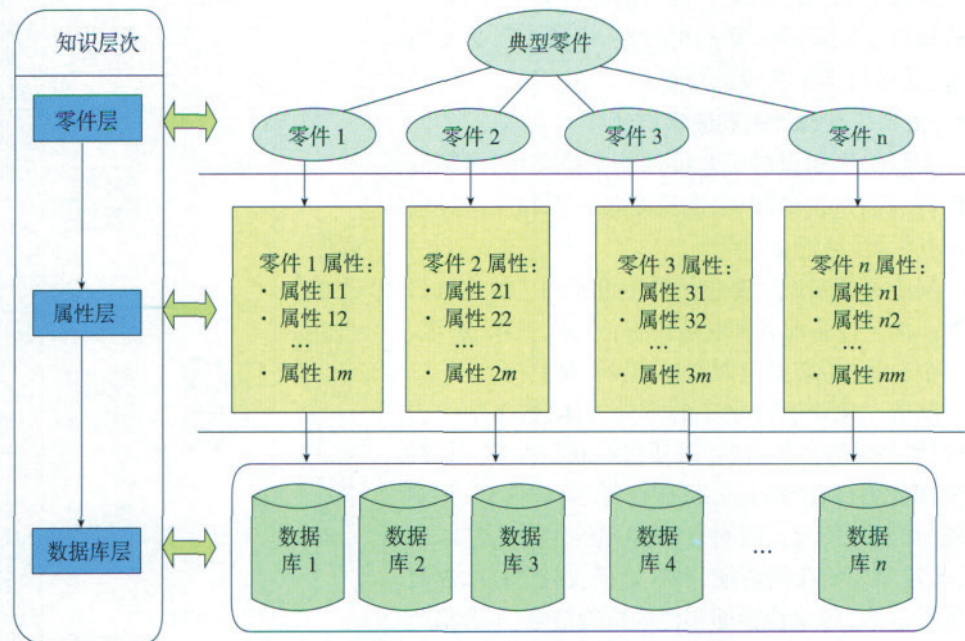


图3 支持工艺设计的制造知识结构层次模型

Fig.3 Hierarchical model of manufacturing knowledge supporting process planning



图4 支持工艺设计的制造设备知识表达模型

Fig.4 Expressive model of manufacturing equipment knowledge supporting process planning

选取 2B060B  $\delta 1.8\text{mm} \times 300\text{mm} \times 800\text{mm}$  材料,进行以下试验。

(1) 两组试片分别进行 3% 及 5% 拉伸清洗试验,实测结果分别为 3.1%、5.1%,清洗后发现 3.1% 试片有滑移线迹象,5.1% 试片表面出现雪花状粗晶,且与蒙皮零件拉伸过程中所出现的表面粗晶现象完全一致。

分析认为,单次拉伸变形量太大易产生粗晶。

(2) 进行 A 试验:试片预拉伸(2%)+新淬火拉伸(2%)后的试片清洗后未发现表面粗晶现象。进行 B 试验:试片预拉伸(2%)+退火拉伸(2%)+淬火拉伸(2%)后的试片。清洗后未发现表面粗晶现象。

分析认为,减小首次拉伸变形量可有效地减少粗晶的产生。

#### 2.4 粗晶机理简析

从进气道蒙皮粗晶检测来看,其存在包铝层中,在初次拉伸变形量大且经过热处理后,往往出现在变形量大的地方,材料晶粒产生的不同时性和不均匀性在宏观上表现为橘皮现象。铝合金变形通过常规晶粒滑移过程来进行,在拉伸成形时,出现晶格畸变和各种晶格缺陷,适当增加去应力退火工序,可改善粗晶现象,且退火温度在一定温度时,金属组织向平衡状态转变,晶格缺陷的减少有利于降低应力集中,晶粒产生的不同时性机会降低,从而减少表面橘皮现象的产生<sup>[2]</sup>。

事实上,不管何种原因产生粗晶,在原材料中加入能显著细化晶粒的元素,使板材在拉伸过程中避免出现粗晶是可能的,国外公司生产的铝板中就有专门用于拉伸的板材。

#### 2.5 解决方案

利用试验结果,按 A、B 试验数据进行零件拉伸成形试验,均未出现粗晶,但是 A 试验贴胎度不理想。综合考虑,最终确定工艺方法为:预拉伸(2%)+退火拉伸(2%)+新淬火拉伸(2%),并在后续零件生产中获得成功,同时重新编制了工艺规范予以流程固化。

综上,对于本批次 2B06 材料来说,蒙皮表面粗晶与拉伸变形量密切相关,为此采用增加拉伸次数、减小单次变形量并适当增加退火,可有效地解决 2B06 材料成形过程中出现的粗晶问题。

### 3 结束语

通过对民机 2014 材料(材料规范为 L164/L165/L167)、某型机 2B060B 材料拉伸成形过程中出现的粗晶缺陷分析及大量的工艺试验,找出了粗晶产生的原因,确定最佳解决方案,同时从微观角度对粗晶形成机理进行分析,为解决类似材料拉伸粗晶问题进行了有益的探索。

#### 参考文献

- [1] 航空制造工程手册总编委会.航空制造工程手册:飞机钣金工艺.北京:航空工业出版社,1992,361.
- [2] 游中厚.改善飞机前侧壁蒙皮表面橘皮研究.航空工程与维修,2001(6):46-47.

(责编 晓立)

(上接第 88 页)

尺寸、使用状况等存储在计算机中的相关信息。

与支持工艺设计的制造知识结构层次模型相对应,各个实体的所属知识层次如下:典型零件/1 和零件 1/2 属于层次模型中的第一层零件层,零件 1 属性/3 属于第二层属性层,加工设备/4、车床库/5、铣床库/6、磨床库/7、加工中心库/8、车床 1/9、车床 2/10、车床 3/11 和车床 n/12 属于第三层数据库层。

类似地,可以建立工装设备、材料特征、零件特征、质量检验、制造过程参数、加工方法、制造技术标准、制造过程因素和制造能力等制造知识的 IDEF1X 模型,工艺设计人员在设计时会同时综合考虑零件所有的属性,并查看所需要的制造知识。

### 4 结束语

制造知识是支持工艺设计知识的重要组成部分,将支持工艺设计的制造知识按照工艺设计人员理解的难易程度划分成零件层、属性层和数据层 3 个结构层次,并利用 IDEF1X 方法建立的支持工艺设计的制造知识表示模型,为将制造知识进行合理有效地组织并提供给工艺设计人员奠定了研究基础。

#### 参考文献

- [1] Dereli T, Filiz H. A note on the use of STEP for interfacing design to process planning. Computer-Aided Design, 2002, 34(14): 1075-1085.
- [2] Brayan C, Steven R R. ALPS: A language for process specification. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1991, 4(2): 105-113.
- [3] 高伟. 工艺设计信息系统中的知识发现技术研究[D]. 成都: 四川大学, 2005.
- [4] 陈彦海. 产品设计与工艺设计过程建模及其并行技术研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2006.
- [5] 狄瑞坤, 唐任仲. 面向制造设计环境下的并行工艺设计技术研究. 浙江大学学报(工学版), 2002, 36(3): 265-268.
- [6] 张勇为, 顾新建, 胡恒杰, 等. 工艺设计知识资源网络的元数据模型. 浙江大学学报(工学版), 2009, 43(10): 1828-1832.
- [7] 杜平安, 周晓明, 黄洁, 等. 面向工艺设计的制造过程建模[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(10): 1581-1585.
- [8] 刘闯, 王俊彪. 面向工艺领域的制造知识系统化建模方法研究. 计算机集成制造系统, 2009, 8(15): 1500-1506.

(责编 良辰)