

航空发动机工装设计知识管理系统研究*

Research on Knowledge Management System of Aeroengine Tools Design

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 刘彬 莫蓉 刘维伟 陈金亮

[摘要] 在分析目前的发动机工装设计过程存在问题的基础上,提出了基于本体论的设计知识模型、设计知识管理流程和知识管理体系框架,并讨论了实现该系统的知识组织模型实施框架。

关键词: 工装 设计知识 知识管理

[ABSTRACT] On the basis of analyzing tools design in nowadays, aimed at problems in them, and an model of design knowledge based on the ontology, its knowledge management routine and technology system at presented. The framework to support this system is discussed.

Keywords: Tools Design knowledge Knowledge management

工艺装备(包括机床夹具、模具、装配型架、刀具和量具等,简称“工装”)是飞机发动机制造中必备的设备 and 工具,工装设计水平是反映一个国家飞机制造水平的关键指标之一。工装在产品的研发过程中具有举足轻重的作用,据有关资料统计,工装的设计、制造周期一般占新产品研制周期的40%左右,工装成本占总成本的20%~30%左右。在西方国家歼击机机体的研制过程中,工装的费用占总研制经费(约10亿美元)的16.5%~19.5%^[1]。而我国各航空企业现采用的CAD/CAM系统在设计集成、资源共享、知识重用等方面还不能提供有效和全面的支持,工装设计、制造已成为影响发动机研制周期的主要因素之一。做好工装设计知识管理,对于缩短研制周期,提高制造质量,节约生产成本,增强企业竞争力等都有着十分重要的意义。

1 工装设计现状分析

1.1 发动机工装设计存在的问题

经过大量调研发现,目前各航空厂在工装设计过程中普遍存在以下问题:(1)设计方法落后,整体水平较低^[2]。各设计单位目前所普遍采用的CAD/CAM技术都以信息

为基础,缺少相应的知识模型及知识驱动的设计体系,因此对设计决策问题的处理很困难,难以适应工装创造性设计的要求。(2)信息集成与系统集成问题。工装设计与零件之间存在对应关系,工装设计的数据应来源于零件的外形和结构数据。为了更好地保证工装与零件、工装与工装之间的配合与协调,需要全面解决信息集成与系统集成的问题。(3)基于知识的设计资源重用问题。研究表明,大约超过75%的设计包含基于实例的设计,即重新采用以前的设计知识解决新的设计问题。但是由于企业缺乏完善的知识积累和学习机制,在后续的相似产品开发中,只能通过设计人员的经验和记忆来进行,这种方法具有模糊性。

尽管人们认识到工装设计在发动机研制中的重要性,但其未更多地受益于计算机辅助工程,它仍是发动机制造的瓶颈问题之一。

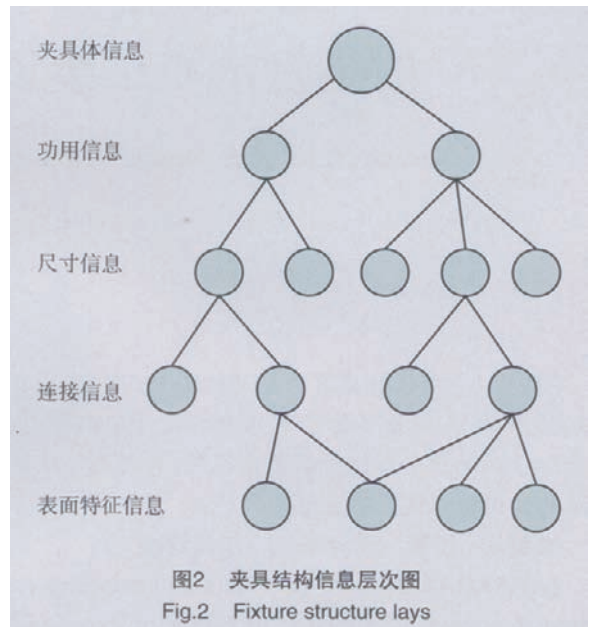
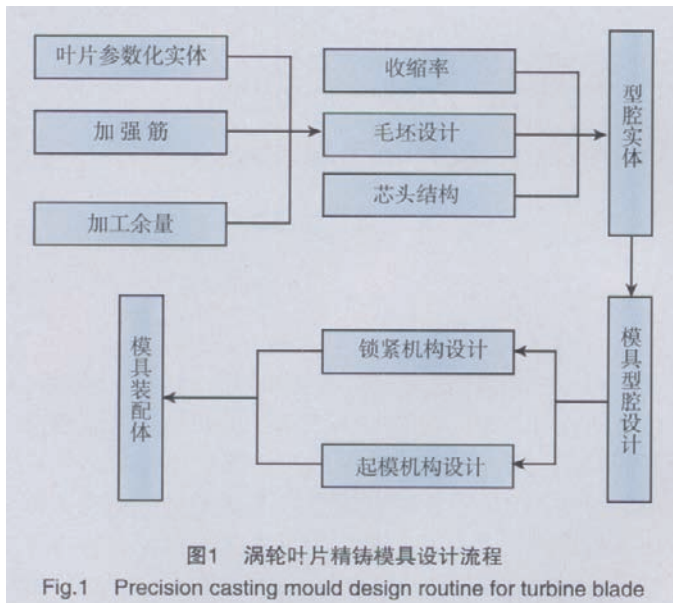
1.2 发动机工装设计过程与特点

传统工装设计已有很长的历史,建立了较为完善的理论和规范。航空发动机工装设计过程一般可分为4个阶段。(1)设计前准备工作:包括消化产品设计资料,了解有关工艺方案、指令性工艺文件,以及相关工作内容、工作程序、交接状态等。(2)草图设计和工装设计方案的确定:如模具设计中收缩率选择、分模面的选择,以及是否符合工艺要求,与机床类型进行匹配等。(3)绘制工作总图:借助三维CAD平台,以电子图板方式进行人工结构化设计、参数设计和性能分析等。(4)绘制零件图:选用二维CAD平台进行绘图、出图。图1所示为某发动机涡轮叶片精铸模具设计流程图。

工装设计过程体现了以下特点:

- 强经验弱理论性。在设计过程中存在许多经验知识,无法通过定量的计算得到设计结果。
- 知识相互影响制约。发动机工装涉及元素众多,元素间(如零件、模具、夹具、机床、材料及工艺等)相互关系复杂。
- 存在大量类似设计。工装设计多在原有实例基础上进行改进完成。
- 对设计人员要求较高。设计人员需要经过大量

* 国家863项目(2007AA04Z184),航空基金(05H53080),2008年陕西省科技攻关计划资助。



的培训,积累丰富的经验才能很好地完成发动机工装的设计任务。

2 基于本体的设计知识模型

传统的人工智能依赖于眼前求解的特定问题表示知识,它所采用的各种知识表示方法难以统一,不提供知识的显式语义,造成了知识集成和共享的困难。而本体(Ontology)是对共享概念模型的明确的形式化规范说明^[3],通过概念之间的关系反映概念的语义信息,从而使隐含的关系明晰化,能较好地消除语义歧义和模糊现象,保障语义的一致性^[4-6]。本体能够在语义和知识层次上描述信息,基于本体的知识表达能较好地解决领域知识公共的规范问题。因此,本文采用基于本体的知识表示方法。

2.1 知识建模

形式化和结构化的知识称为知识模型,以某发动机叶片所用组合夹具为例,它的结构可分为4个层次,即夹具总体、功能组件、夹具元件和功能表面,图2为此夹具结构信息层次图。

这种夹具结构可表达为: $F=\{Umn,Dmn,Lmn,Cmn\}$, 式中, F 为夹具总体信息; Umn 为指夹具体上功能组件、功能元件或功能面的功能信息; Dmn 为夹具体上功能组件、功能元件或功能面实现其功能的尺寸信息; Lmn 为构成尺寸位置的夹具组件、夹具元件之间的连接信息; Cmn 为连接中使用的表面特征信息; m 为信息单元层次号; n 为信息单元序号。

领域知识是领域中所有知识实体的集合,知识实体包含领域知识中与领域概念相关的各种事实,知识实体的集合构成领域知识系的概念空间。首先建立领域本

体,并通过概念的实例化表示各种知识。

2.2 知识结构

本体通过对领域知识系中实体的概念化分析,形成一个概念化的“领域知识库”。将本体作为领域知识的元知识(Meta-Knowledge),用本体中的概念来表示领域知识实体。因此,知识可以分为元知识层(Meta-Ontology层)和知识实体层(Knowledge Instance层)。元知识层和知识实体层分别对应于不同的系统操作。

(1)元知识层。本体的建立、本体的推理、本体的映射。本体分为概念、属性、关系、函数、公理和实例。Web本体语言(Web ontology language, OWL)是W3C推荐的语义互联网中本体描述语言的标准,本文采用OWL语言作形式化编码,以方便机器理解,以下是部分使用OWL语言编写的领域本体。

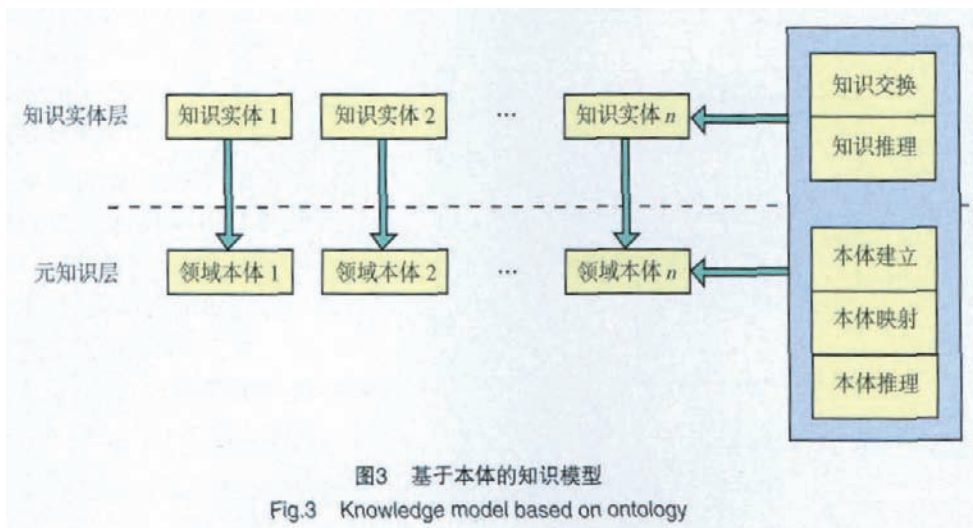
```

</owl: Class>
<owl: Class rdf: ID= “数控车刀” >
  <owl: disjointWith>
    <owl: Class rdf: ID= “数控铣刀” />
  </owl: disjointWith>
  <owl: disjointWith>
    <owl: Class rdf: ID= “成型铣刀” />
  </owl: disjointWith>
  <owl: disjointWith>
    <owl: Class rdf: ID= “卡尺” />
    <rdfs: subClass Of rdf: resource= “测具” />
  </owl: disjointWith>
</owl: Class>

```

上述编码中,subClassOf表示父子关系,disjointWith表示这个类与其他类独立。

(2) 知识实体层。进行知识推理、知识交换。领域知识模型是根据本体建立的结构化的领域知识系的集合,包括了知识实体间的层次和约束关系。基于本体的知识模型见图3。



3 基于本体的发动机工装设计知识管理体系框架

3.1 发动机工装设计知识管理流程

发动机工装设计知识管理包括对显性知识和隐性知识的管理。显性知识指可以清晰地表述、完整地转移的知识,包括事实、数据、设计手册、设计方案等^[7-8]。隐性知识指复杂的、隐含的、难以用文字等形式明确表述或完整转移的知识,这类知识主要是指存在于设计专家头脑中的知识。为实现对工装设计知识的管理,在知识表示方法的基础上提出知识管理的流程,如图4所示。

在知识管理平台上,对获取的显性知识分类、编码,进行形式化表示后存储到相关数据库。设计人员和相关专家通过各种方式相互交流,使隐性知识显性化,进而达到知识共享、重用的目的。在进行知识管理时,允许每位员工向知识平台内提供知识,使每个员工的知识都成为知识平台的组成部分。知识平台给员工提供相应的软硬件设备,全天候地开放,使他们能随时随地联入知识网络,实现知识的自由交流。

3.2 工装设计知识管理体系框架

发动机工装设计人员

在统一知识管理平台下实现对设计实例、设计师经验等隐性设计知识的共享、重用,以缩短研发周期、提升研发效率。设计知识管理系统的体系框架分为3个层次:基础层、服务层、应用层。各层之间相互融合,紧密相连,

共同对设计知识进行有效的管理,基于本体的工装设计知识管理体系框架如图5所示。

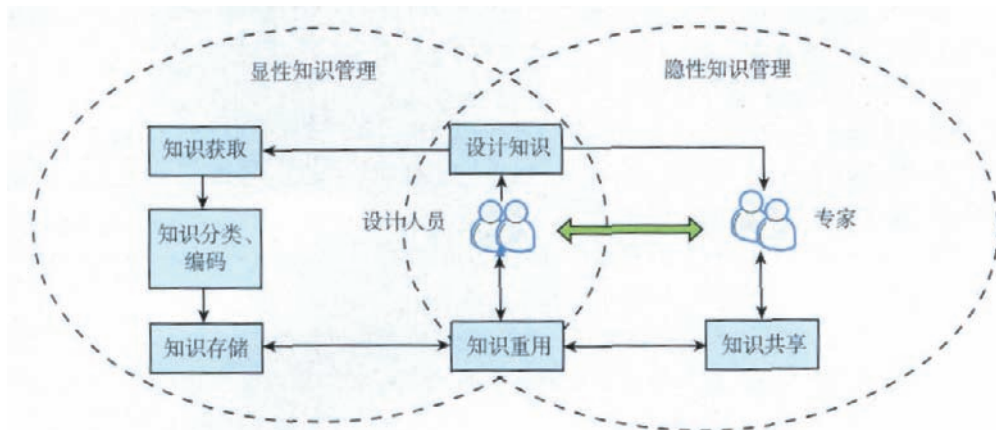
对各层的功能和相互关系进行概要描述如下。

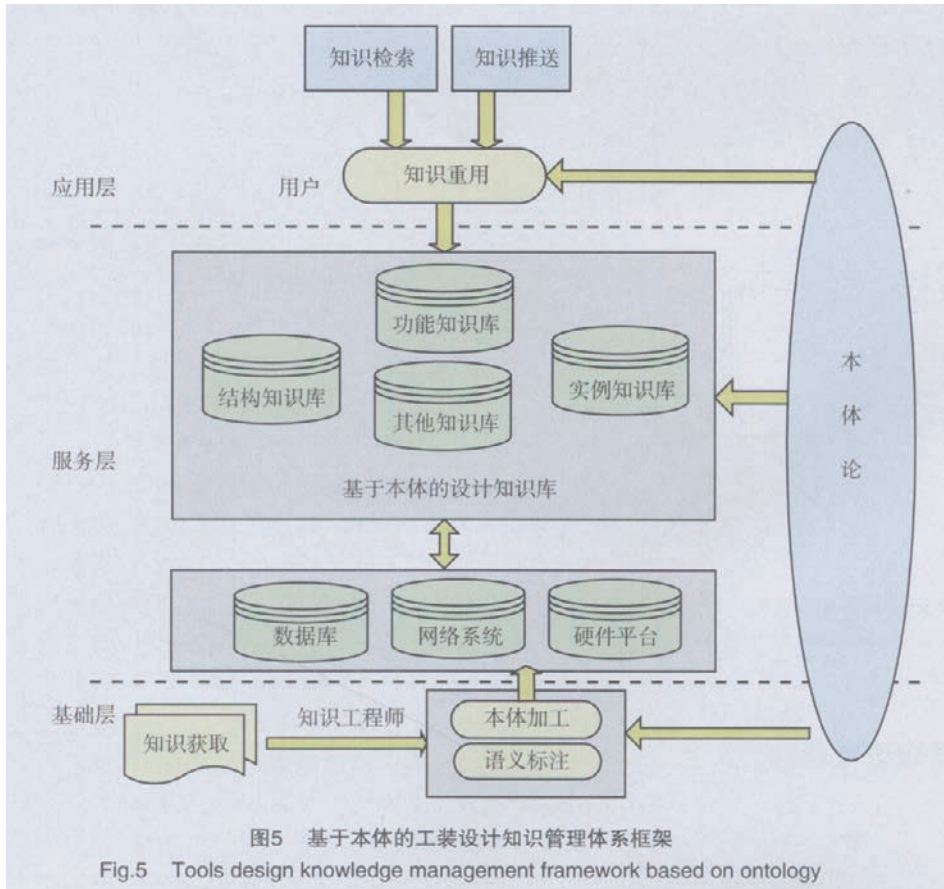
(1) 基础层。由知识工程师通过对相关信息进行筛选和处理来获取知识,将总结出来的知识存入设计知识库中。例如可采用先进的数据挖掘算法或知识表示方法对信息进行分析或描述,利用专家

知识地图,与设计专家进行直接或间接的交流,实现隐性知识的获取。知识的表示可以是产生式规则,也可以采用框架结构或者语义网络。通过构建领域本体模型,并采用本体概念模型完成知识加工和语义标注,以及应用模型的创建和维护。知识存储方式随知识的表示不同而有差别,从而形成不同的知识库。

(2) 服务层。主要提供通信、安全、信息服务和数据管理服务。通过相关数据库、网络系统、硬件平台等对设计知识进行处理,构建基于本体的设计知识库,包括结构知识库、功能知识库、实例知识库及其他知识库等,并实现知识库与数据库等之间的信息通信。本层是工装设计知识管理后台,也是整个系统的核心。

(3) 应用层。是工装设计知识管理用户界面,根据现有的需求和条件查询、检索所需的知识,通过知识推





人经验、思维知识、设计实例等，并支持以 XML WebService 实现与第三方软件系统数据库的集成。

知识组织主要是指依据知识本体库，对数据源中类型各异的知识元或数据实体实施知识本体映射，形成基于网络结构的知识元组织。映射过程中产生的映射信息保存到映射库，映射库成为数据源与知识本体库的中间桥梁。通过构建知识本体库，并对知识元实施知识本体映射，实现发动机工装设计知识的统一组织和管理，实现知识高层应用，从而充分发挥知识在工装设计中的主导作用。

5 结束语

随着航空发动机的性能及结构设计越来越复杂，相关工装产品的设计开发所需要的知识越来越多，工装设计要求所需要的知

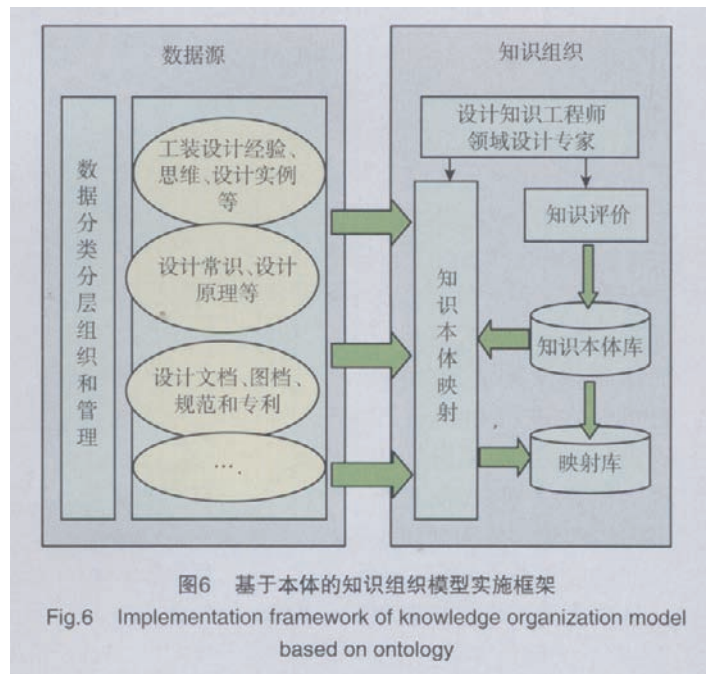
送(主动)、知识检索(被动)等方式向用户提供所需要的知识重用等服务。

基于本体的工装设计知识管理以知识获取为基础、设计知识库为中心、知识重用为目的,综合应用信息技术、先进制造技术,实现航空发动机快速设计与制造。

4 工装设计知识组织模型的实施框架

根据基于本体的知识组织模型的相关概念、理论和关键技术的研究,给出发动机工装设计企业进行设计知识统一组织的实施框架(如图6所示)。在该框架中,知识本体映射是核心,它通过设计知识工程师与系统交互进行知识本体映射,数据源中类型各异的设计知识集成到知识本体库,实现知识分类、分层组织基础上的网络化组织,是知识重用的基础。在框架中,数据源是相对于知识本体映射过程而言的,数据源中知识元的组织是一般的数据分类分层组织方法,知识间联系体现为单一的层次结构关系。数据源本身可组成一个功能比较完善的知识元数据库系统,包括对各类知识的添加、删除、更新和浏览等。

数据源主要包括发动机工装设计常识、设计原理等,设计企业中的各种电子化的产品图档、文档,以及个



识以最快速度融入产品之中。在航空发动机工装设计中组织构建知识管理系统,有利于提高设计能力,缩短发动机开发周期,提升企业核心竞争力。

(下转第 89 页)

$$A = \frac{M\sigma_s}{E}, \text{ 代入(1)式,}$$

得到:

$$r_{\Delta} = \frac{r_0}{1 + A \frac{r_0}{t}},$$

经过推导,最后可以得出:

$$A = \frac{\Delta \alpha \cdot t}{(180 - \alpha_0) \cdot r_0}, \quad (3)$$

由式(3),可以通过实际测量试件的回弹角 $\Delta \alpha$ 来计算综合回弹系数 A 值。

(2)热成形方法。

从前面的图表可见, MGH956 合金的热成形温度应该在 600~800℃之间。选择一种形状较简单的现有热成形模具,在 ACB 公司生产的 FCC200T(2×600)×800 LOIRE 热压成形机上进行 MGH956 合金板材热成形技术研究。利用以上推导出的式(3),通过实测试件热成形后的回弹角 $\Delta \alpha$, 计算获得材料的综合回弹系数 A 值,从而掌握材料在不同温度热成形时的回弹情况,为热成形参数的选择及热成形模具的回弹计算提供依据。

选择 0.8mm、1.2mm 和 1.5mm 三种材料厚度,在 600~800℃之间每增加 50℃作为一个热成形试验温度进行热成形试验,保压时间选择与一般钛合金热成形相同,即保压 2~3min。

2.3 热成形试验结果

试验测得的试件回弹角 $\Delta \alpha$ 见表 3。通过推导出的式(3),计算得到 ODS-MGH956 合金板材 0.8mm, 1.2mm 和 1.5mm 试件综合回弹系数 A 值见表 4。

从试验数据发现, ODS-MGH956 合金板材随着料厚的增加热成形回弹逐渐减小,3 种料厚的试件在 650℃以上,保压 2~3min,除了厚度为 0.8mm 的试件有轻微回弹外,厚度为 1.2mm 和 1.5mm 的试件基本无回弹(即 A 值为 0)。而热成形温度超过 700℃时,3 种料厚的试件均达到非常好的成形精度,基本无回弹。考虑成形的经济性及热成形设备的温度控制精度,应该选择能够满足成形精度的最低温度进行热成形,因此,厚度

表3 试验测得的回弹角

试件厚度 0.8mm		试件厚度 1.2mm		试件厚度 1.5mm	
成形温度 /℃	回弹角 $\Delta \alpha /(^{\circ})$	成形温度 /℃	回弹角 $\Delta \alpha /(^{\circ})$	成形温度 /℃	回弹角 $\Delta \alpha /(^{\circ})$
610	1.78	604	0.77	598	0.06
635	1.11	625	0.03	617	0
666.67	0.78	656.67	0	646	0
707.3	0	688.67	0	677	0
799	0	789	0	776.5	0

表4 ODS-MGH956合金板材试件综合回弹系数A值

试件厚度 0.8mm		试件厚度 1.2mm		试件厚度 1.5mm	
成形温度 /℃	A 值	成形温度 /℃	A 值	成形温度 /℃	A 值
610	0.005 579 063	604	0.003 577 236	598	0.000 346 021
635	0.003 479 079	625	0.000 139 373	617	0
666.67	0.002 439 024	656.67	0	646	0

为 0.8mm、1.2mm 和 1.5mm 的 ODS-MGH956 合金板材的最佳热成形温度区间分别是 700~750℃、650~700℃和 600~650℃。

3 结论

(1) 国产 ODS-MGH956 合金板材与 MA956 合金板材的热成形性能基本相当;

(2) ODS-MGH956 合金板材热成形回弹与热成形温度和板材厚度均有关系,相对地,薄板的热成形回弹值要大一些;

(3) 厚度为 0.8mm、1.2mm 和 1.5mm 的 ODS-MGH956 合金板材的最佳热成形温度区间分别是 700~750℃、650~700℃和 600~650℃。

参考文献

- [1] 李华林. ODS-MGH956 高温高强度抗氧化合金的全面性能. 钢铁. 1994(5):55-60.
- [2] 李硕本. 冲压工艺学. 北京:机械工业出版社, 1984.

(责编 玉龙)

(上接第 86 页)

参考文献

- [1] 郑海州. 面向航空企业的工艺装备全生命周期管理研究[D]. 西安:西北工业大学, 2005.
- [2] 刘洪. 飞机工装设计制造技术探讨. 航空制造技术, 2006(12):69-71.
- [3] Gruber T R. A translation approach to portable ontology specifications. Palo Alto, CA: Sumford University, 1993.
- [4] 陈永当. 基于知识的机械产品开发集成技术研究. 制造技术与机床, 2005(5): 64-67.
- [5] 张东民. 基于本体的设计知识建模研究. 华南理工大学学报(自然科学版), 2005, 33(5):26-31.
- [6] 潘旭伟. 面向知识管理的知识建模技术. 计算机集成制造系统, 2003, 9(7):517-521.
- [7] 李继红. 飞机制造中工装数字化技术的应用研究[D]. 西安:西北工业大学, 2001.
- [8] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京:北京航空航天大学出版社, 2001.

(责编 阳光)