

钣金成形信息化发展关键技术

韩志仁

(1. 沈阳航空航天大学航空制造工艺数字化国防重点学科实验室, 沈阳 110136;
2. 沈阳航空航天大学航空宇航工程学部, 沈阳 110136)

[摘要] 钣金成形广泛应用在航空、汽车、船舶等各个行业,而钣金成形信息化在钣金成形技术中起重要作用。钣金成形信息的存储方式、关联技术、信息规范技术、数据库技术、钣金成形信息共享平台技术、钣金成形信息的获取和利用技术,是钣金成形信息化的关键技术。通过这些关键技术规范钣金成形信息的表达、存储方式,建立完善的钣金成形信息平台,利用数据挖掘技术,为钣金成形技术人员提供钣金成形工艺方案、工艺规程、模具设计需要的充足的信息。钣金成形信息化技术的发展将理顺钣金成形信息的积累和利用,消除信息孤岛,提高钣金成形的整体工艺水平和工艺准备效率。

关键词: 钣金成形; 信息化; 工艺

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2016.13.038



韩志仁

沈阳航空航天大学航空制造工艺数字化国防重点学科实验室教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为钣金成形 CAE 和数字化制造技术。

20 世纪之前, 钣金成形主要以手工为主; 进入 20 世纪后, 冲压设备和模具使钣金成形开始向机械化方向发展; 从 20 世纪 80 年代开始, 数控技术在钣金行业大量使用, 钣金行业开始进入一个高速发展的阶段。钣金产品在通信电子、汽车制造、摩托车制造、船舶制造、航空航天、仪器仪表、家电等行业广泛应用。由于产品的需要, 设计的钣金件越来越复杂, 飞机上的钣金件更是如此, 航空钣金件不仅具有尺寸大、刚度小、外形复杂的特点, 而且在生产上具有品种多、批量小、成形方法多样化的特点。随着计算机技术和钣金数字化技术的发展, 钣金成形技术得到了快速发展, 钣金成形信息化得到了一定的发展。钣金成形质量和经济性主要取决于采用的成形工艺方法和模具设计质量, 而选择合适的钣金成形方法和设计合理的模具结构需要大量的材料信息、设备信息、工艺信息、产品几何特征信息、典型模具结构信息等。目前这些钣金信息以不同的

形式保存在不同的载体中, 而且信息完整性差, 直接影响钣金成形的整体技术水平, 特别是目前采用落压成形方法加工的复杂航空钣金件, 在成形件质量和制造效率等方面存在很多问题, 这与钣金成形信息化技术发展迟缓密不可分。钣金成形信息技术方面仍然存在信息表达难、信息量化难、信息提取难、信息存在形式不规范、存在信息孤岛等诸多问题^[1-2]。

钣金成形信息

1 钣金成形信息的内涵

钣金成形信息主要分为钣金件几何特征信息、材料信息、工艺信息、仿真结果信息、成形模具信息、设备信息等, 具体见图 1。这些钣金成形信息是制定成形方案、编制成形工艺、确定工艺参数、设计成形模具的依据, 也是知识工程的一部分, 提高钣金成形知识重用率和整体钣金成形技术水平的基础。

2 钣金成形信息分类和存在方式

钣金成形信息包括材料信息、钣

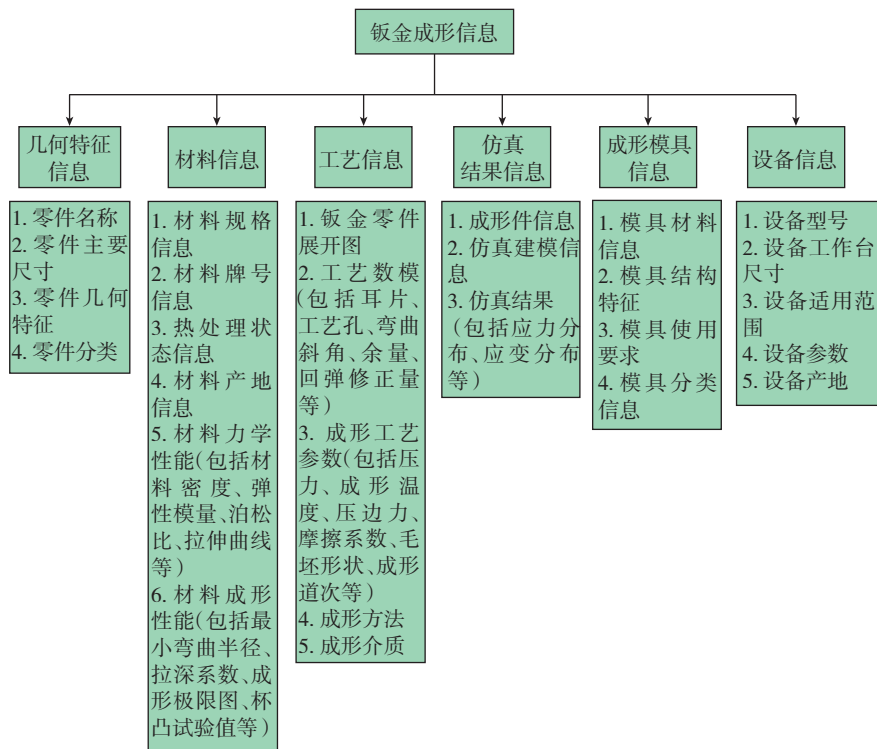


图1 钣金成形信息
Fig.1 Sheet metal forming information

金件成形工艺信息两大类。

材料信息包括材料描述性信息、材料力学性能和成形性能 3 类。材料描述性信息包括材料的名称、牌号、状态、批次、厂家等信息；材料力学性能信息包括密度、杨氏模量、抗拉强度、泊松比、拉伸曲线等；成形性能包括最小弯曲半径、拉深系数、成形极限图、材料本构模型、厚向异性指数、异性参数、杯凸试验值等。

材料描述性信息采用短语或句子表示钣金成形信息，可以直接得到；材料力学性能信息主要是量化信息，通过单拉试验计算得到，另外，单拉曲线信息也可以用图形方式表示，属于图形类信息；金属板成形性能一般通过特定的工艺试验获取成形性能参数，成形极限图采用双向拉伸试验并计算得到，属于图形类信息（见图 2），厚向异性指数通过单拉试验得到，而其他的各向异性参数与材料模型有关，主要材料异性模型如下。

(1) Barlat 各向异性模型(1991

年提出)。

屈服函数：

$$\phi = |S_1 - S_2|^m + |S_2 - S_3|^m + |S_3 - S_1|^m = 2^m,$$

其中， $S_i(i=1,2,3)$ 为对称矩阵 $S_{\alpha\beta}$ 的主值。

$$\begin{aligned} S_{xx} &= [c(\sigma_{xx} - \sigma_{yy}) - b(\sigma_{zz} - \sigma_{xx})] / 3 \\ S_{yy} &= [a(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) - c(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})] / 3 \\ S_{zz} &= [b(\sigma_{xx} - \sigma_{yy}) - a(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})] / 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{yz} &= f\sigma_{yz} \\ S_{zx} &= g\sigma_{zx} \\ S_{xy} &= h\sigma_{xy} \end{aligned}$$

其中， a, b, c, f, g, h, m 为各向异性参数。

(2) Barlat 各向异性三参数模

型。

此模型适用于平面应力问题，各向异性屈服函数：

$$\begin{aligned} \phi &= a|K_1 + K_2|^m + a|K_1 - K_2|^m \\ &+ c|2K_2|^m = 2\sigma_Y^m, \end{aligned}$$

其中， a, c, K_1, K_2 与板料厚向异性指数 R_{00}, R_{90} 有关。所以异性参数为 R_{00}, R_{90}, m 。

(3) HILL48 模型。

屈服函数：

$$\begin{aligned} \phi &= F(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + G(\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + \\ &H(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 2L\sigma_{23}^2 + \\ &2M\sigma_{31}^2 + 2N\sigma_{12}^2 - 1 \end{aligned}$$

其中， F, G, H, L, M, N 为各向异性参数。

目前材料力学性能和成形性能参数信息方面，每一种金属材料不同状态下的性能均有参数数据，而成形性能一般厂家并不提供。由于同种牌号的金属材料不同厂家生产、不同批次生成的产品存在差异，材料性能存在分散性，使用厂家一般在入厂时需要进行材料试验测试材料性能，确定并核实材料的性能，这样会造成材料试验重复进行，材料的成形性能试验更是如此，特别是材料的成形极限试验工作量大，试验成本高。因此，在金属板料出厂前对不同批次完成材料性能和成形性能试验，将材料性能和成形性能提供给应用厂家，可以节省大量的人力和财力，从社会角度节约成本，同时提供材料牌号、批次、状态、试验条件、采用的标准、厂家等详细的材料信息。材料生产厂家可以提供材料的量化的性能信息、描

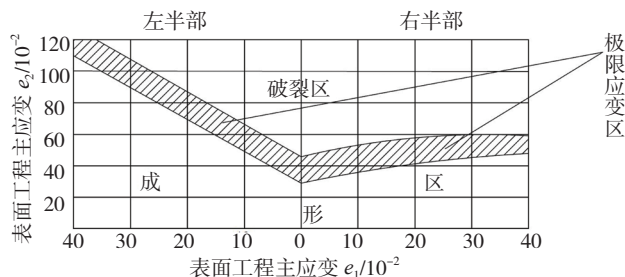


图2 钣金成形极限图

Fig.2 Sheet metal forming limit diagram

述性信息、图表信息等电子版信息,形成材料数据库。材料的各种信息的获取均符合国家规范。从源头上解决目前材料信息不完善、不规范、分散、重复材料试验等问题。该问题的解决需要从国家层面入手,通过法律、法规强制规范材料生产厂家提供准确的、完整的、规范的材料信息。

钣金件成形工艺信息包括钣金件几何特征、工艺信息、成形模具信息、仿真分析结果信息、设备信息等。

钣金件几何信息主要包括零件名称、几何尺寸、几何特征、零件分类,存在于钣金件工程图或三维数模(属于数模类信息)中;工艺信息主要包括钣金零件展开图(属于图形类信息,如图3所示)、成形方法、工艺数模、成形工艺参数、成形介质等,既有量化信息,也有描述性信息;成形模具信息包括模具材料信息、模具结构特征、模具使用要求、模具分类信息,属于描述性信息;仿真分析结果包括成形件信息、仿真建模信息、仿真结果,既有描述性信息,也有图形信息和量化信息;设备信息包括设备型号、设备工作台尺寸、设备适用范围、设备参数、设备产地,可以归结为描述性信息。

一个优化的钣金成形方案,不仅需要优秀的工艺和模具设计人员,更重要的是需要完善的钣金成形信息作为支撑。计算机技术和数据库技术广泛应用以前,钣金成形信息的载体主要是纸张。材料信息和成形性能信息等主要包括在手册或相关书

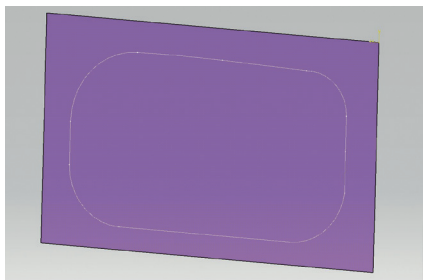


图3 毛坯轮廓
Fig.3 Blank profile

籍中,具体零件的钣金成形工艺包括在工艺单中,模具信息包括在工程图中,这些钣金成形信息存储的特点是信息孤立、分散、不适合批量获取,影响钣金成形信息获取的效率,各种钣金成形信息的载体相对独立,形成信息孤岛。

钣金成形信息可以分为显性信息和隐性信息,显性信息是指钣金成形信息中可以量化或用单一指标清晰描述的信息(如材料性能参数、设备参数、零件名称等);而隐性信息是指包括在图形或几何模型中不能量化或很难用单一指标清晰描述的信息(如任意形状的毛坯图、复杂几何形状尺寸等)。隐性钣金信息描述和获取方法是钣金成形方案制定、模具设计和工艺设计的关键之一。

钣金成形信息化发展的关键技术

1 钣金成形信息关联技术

目前钣金成形信息存在孤岛,信息的关联性没有充分体现。钣金成形信息的载体为纸张时,信息获取不方便,不容易与其他信息有效的关联,不适合自动检索。因此,钣金成形信息化首先需要将相关信息电子化,保存在计算机中,避免使用纸质载体。由于钣金成形信息涉及的信息量大、信息类型复杂,需要采用不同的方式保存钣金成形信息,材料信息主要是量化信息和描述性信息,可以采用数据库形式保存,钣金件工艺信息包括数模类信息、描述性信息等,保存形式为数据库和数模。

对于材料信息和钣金件工艺信息中的量化信息和描述性信息,采用关系型数据库存储这些信息,并建立信息间关联关系。

钣金件工艺信息中几何特征、毛坯数模、工艺数模等均以数模形式出现,零件的工艺规程以电子表格形式表示(见图4),这些信息不适合用数据库直接管理,可以通过对文件名字

的管理实现对钣金件工艺信息的管理。零件数模与工艺规程通过零件的名字进行关联,由于零件保存的位置变化、零件修改更新等原因,这种关联方式关联性弱,而且不适合批量检索。因此,通过将工艺规程定义到数模中进行关联(图5所示)。工艺耳片信息、工艺余量信息等添加到数模中进行信息关联(见图6),可以保证强的关联性和更新实时性。在钣金成形信息的表达、存储等方面充分考虑信息的关联性是保证钣金成形信息充分共享、有效获取的关键技术

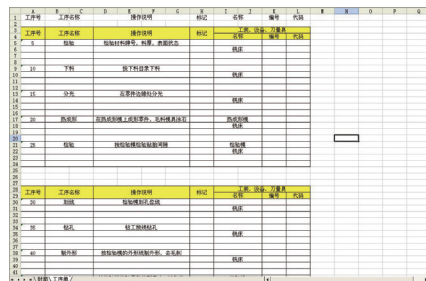


图4 电子版工艺规程
Fig.4 Electronic version process planning

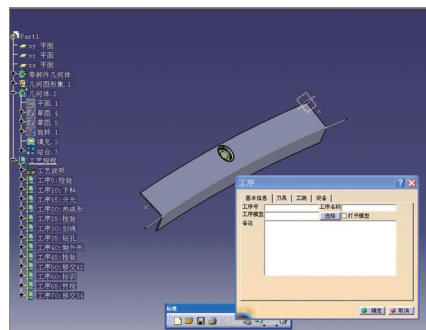


图5 数模中的工艺规程
Fig.5 Process planning in digital model

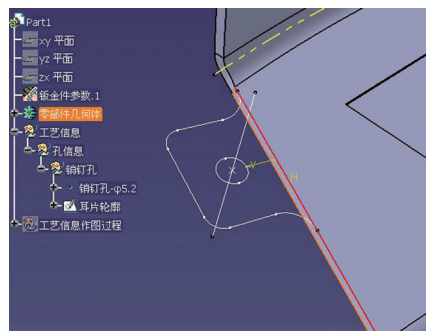


图6 数模中的工艺耳片信息
Fig.6 Information of ear piece in the digital model

之一。

2 钣金成形信息的规范技术

钣金成形信息种类繁多,既有显性信息,也有隐性信息,信息的载体差异很大。为了高效、准确地获得需要的钣金成形信息,必须将钣金成形信息进行规范化处理,建立统一规范的钣金成形信息表达、存储原则。建立钣金成形信息规范应该考虑以下几个方面:(1)考虑信息间的关联性,在同一载体存储钣金成形信息时尽可能将相关联的特征类信息进行关联,比如材料参数必须关联材料的规格、名称、牌号、状态、产地等特征信息,工艺信息尽量关联零件名称、几何特征、几何尺寸等信息;(2)将描述类信息采用知识定义的方法进行规范定义,并进行编码量化;(3)将图表、典型事例数模和毛坯数模等采用统一的CAD软件数据格式,或采用通用的CAD数据格式,避免数据异构问题,数模符合标准的MBD规范,用PDM技术进行管理,规范其命名和特征;(4)规范统一各类钣金成形信息的存储载体、存储方式、存储格式。

3 钣金成形信息编码技术

对于非量化的钣金成形信息可以采用编码技术进行量化标识,以便对信息进行量化表征和数据挖掘,如钣金零件的几何特征、典型模具结构的几何特征等钣金成形信息均属于非量化信息^[3-4],该类信息可以利用编码技术进行特征信息描述。以全息特征树描述钣金零件在飞机生命周期各阶段不同侧面、不同层次的信息,形成统一、完备的零件信息描述,

可以根据钣金件的全息特征树进行编码。飞机钣金零件编码总体结构如表1所示。

4 钣金成形信息数据库技术

数据库技术是通过研究数据库的结构、存储、设计、管理以及应用的基本理论和实现方法,并利用这些理论来实现对数据库中的数据进行处理、分析和理解的技术。数据库技术所涉及的具体内容主要包括:通过对数据的统一组织和管理,按照指定的结构建立相应的数据库和数据仓库;利用数据库管理系统和数据挖掘系统设计出能够实现对数据库中的数据进行添加、修改、删除、处理、分析、理解、报表和打印等多种功能的数据管理和数据挖掘应用系统

钣金成形信息种类繁多,信息量大,用于提供技术人员确定钣金成形的工艺方案、工装设计方案、制定工艺规程等。根据钣金成形信息数据的特点,研究数据结构,充分考虑数据的类型、数据的关联性、数据的表达和存在形式,考虑数据库的实用性、开放性、容错性、可靠性,同时研究适合钣金成形信息和数据挖掘的数据仓库模型对于钣金成形信息化至关重要。

5 钣金成形信息共享平台技术

目前研究的钣金成形信息方面的数据库涉及的钣金成形信息范围小,主要集中在航空钣金材料性能、回弹数据库、成形设备数据库等方面,这些数据库包括的信息量小,适用范围小,使用范围小^[5-7]。建立一个包括材料信息和钣金件工艺信息

中的量化信息和描述性信息的共享平台非常重要,不仅规范了钣金成形信息的使用、降低信息获取的成本、方便中小型用户,而且获得好的经济效益和社会效益。共享平台主要包括材料信息和设备信息等,这些信息具有共享的可行性,不涉及商业秘密。建立一个完整的信息共享平台,需要开展大量的研究和数据获取整理工作,难度大,投入大,不适合一个单位投资建设,因此建立信息共享平台,建立完整的钣金成形信息仓库和数据挖掘技术,服务整个钣金行业,是一个经济、高效、可靠的钣金成形信息化解决方案。

钣金件工艺信息中钣金件几何特征、工艺信息、成形模具信息、仿真分析结果信息等信息具有很强的独特性,也可能涉及商业秘密或国家秘密,不适合建立全社会的共享平台,但可以建立行业或企业内部的共享平台,这个共享平台结合PDM一起使用,实现行业内或企业内的钣金成形信息共享,提高钣金成形整体工艺水平。

通用的共享平台主要包括材料性能和设备信息,以国家政府部门牵头,建立专门机构,联合所有的钣金材料生产企业和成形设备生产企业,建立网络商业运行模式,使用信息收取适当费用,参与企业根据提供信息的多少获取利润,保证信息共享平台的健康运行。

6 钣金成形信息的获取和利用技术

钣金成形信息按类型不同,通过不同的方法获取。材料参数、成形性能、回弹量等通过数据库检索直接获取需要的数值,用于钣金成形工艺分析、工艺方案确定和工艺设计;典型工艺方案等信息通过相似度获取相关信息和方案,用于确定工艺方案以及工艺设计提供帮助。依据建立的钣金成形信息公共平台和钣金件典型工艺和模具数据仓库,可以利用钣金零件的几何参数、材料参数、工

表1 飞机钣金零件编码总体结构

码位	设计信息段										工艺信息段				
	材料					功能		结构			11	12	13	14	15
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
分类项目	材料品种	材料大类	材料牌号	材料状态	材料规格	功能粗类	功能细类	典型结构	总体形状	结构构形	热处理	表处理	生产批量	工艺要求	主成形方法

艺特征等进行典型工艺方案的数据挖掘,获得典型的工艺方案、典型的工艺流程和典型的模具结构,通过参数更新方式,进行工艺设计和模具设计。图7为利用钣金成形信息平台开展数据挖掘和工艺设计的流程,图8为利用钣金成形典型实例结构进行模具设计^[8]。

结束语

在数字化制造快速发展的背景下,我国在钣金成形信息化方面得到了一定发展,一些企业根据自身需要建立了小型数据库,对材料参数、成形设备、CAPP等数据进行管理和利用,提高了我国钣金成形信息化水平。但钣金成形信息化方面整体上没有突破性进展,信息孤岛、信息不完善、信息获取难、典型工艺和典型工艺知识重用率低等问题没有得到根本解决。通过统筹全局、顶层设计,着眼钣金成形信息化关键技术的研究和解决,提高钣金成形信息化整体水平,将对钣金成形工艺设计水平、工艺准备效率、降低成本等起到关键作用。

参考文献

[1] 施华. 基于三维模型的飞机钣金零件检验技术[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2013.
 SHI Hua. Inspection techniques based on the three-dimensional model of aircraft sheet metal parts[D]. Shenyang: Shenyang Ligong University, 2013
 [2] 刘闯. 面向飞机钣金数字化制造的知识重用方法研究与应用[D]. 西安: 西北工业大学, 2006.
 LIU Chuang. Knowledge reuse method and application in digital aircraft sheet metal

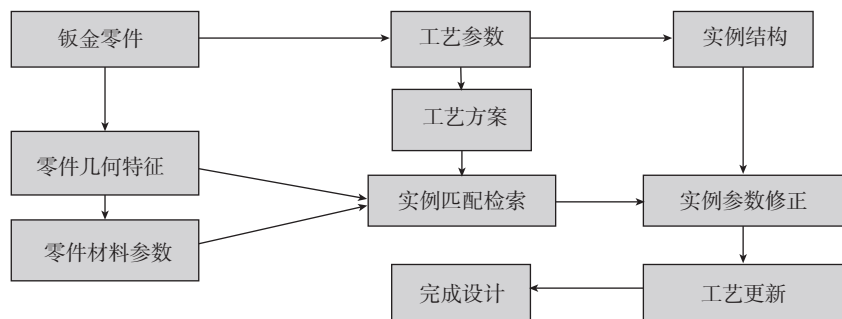


图7 基于数据挖掘的钣金工艺设计流程

Fig.7 Sheet metal process design flow based on data mining

parts manufacturing[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2006.

[3] 赵昌葆, 高铁军, 郑双. 基于信息视图的飞机钣金零件编码方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2010(11):101-104.

ZHAO Changbao, GAO Tiejun, ZHENG Shuang. Research on aircraft sheet metal part coding method based on information view[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2010(11):101-104.

[4] 刘闯, 王俊彪, 孙树栋. 基于零件柔性编码的飞机钣金制造知识重用[J]. 计算机集成制造系统, 2007,13(1):153-157.

LIU Chuang, WANG Junbiao, SUN Shudong. Reuse of sheet metal manufacturing knowledge based on flexible part coding[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007,13(1):153-157.

[5] 万敏, 李新军, 刘玉芳, 等. 飞机钣金成形数据库的开发[J]. 北京航空航天大学学报, 2004,30(2):118-121.

WAN Min, LI Xinjun, LIU Yufang, et al. Development on database of aircraft sheet metal forming[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004,30(2):118-121.

[6] 朱丽, 李小强, 迟彩楼, 等. 航空钣金材料性能参数与工艺知识库[J]. 锻压技术, 2015,40(4):143-147.

ZHU Li, LI Xiaoqiang, CHI Cailou, et al.

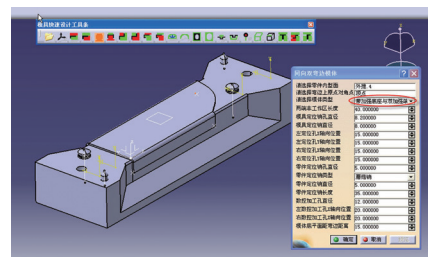


图8 基于典型结构的模具设计

Fig.8 Mold design based on typical structure

Knowledge base of property parameters and techniques for aerospace sheet metal[J]. Forging & Stamping Technology, 2015,40(4):143-147.

[7] 李晓娟, 刘闯, 王俊彪. 飞机钣金制造机床设备数据库及其集成应用研究[J]. 制造业自动化, 2008,30(10):35-39.

LI Xiaojuan, LIU Chuang, WANG Junbiao. Research on machine tool database for aircraft sheet metal manufacturing and its integration application[J]. Manufacturing Automation, 2008,30(10):35-39.

[8] 韩志仁, 薛航. 基于参数化关联技术的冲裁模设计研究[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2014,31(1):1-5.

HAN Zhiren, XUE Hang. Study of blanking design based on parameterization-associated technology[J]. Journal of Shenyang Aerospace University, 2014,31(1):1-5.

Key Technologies for Informatization of Sheet Metal Forming

Han Zhiren

- (1. Key Laboratory of Fundamental Science for National Defense of Aeronautical Digital Manufacturing Process, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;
2. College of Aerospace Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

[ABSTRACT] There is widely application for sheet metal forming in aviation, automobile, ship and other industries.

(下转第55页)