



钣金件数字化制造技术及其应用

Digital Manufacturing Technology of Sheet Metal Part and Its Application

西北工业大学陕西省数字化制造工程技术研究中心 王俊彪 刘 闯
中航工业江西洪都航空工业集团有限责任公司 宋利康 熊 杰 何箭南



王俊彪

西北工业大学教授,博士生导师,现任西北工业大学科技处处长,陕西省制造业信息化专家组组长,陕西省数字化制造工程技术研究中心主任。从事数字化制造技术、飞机钣金精确成形工艺与装备的研究和人才培养,先后主持国家 863 计划、国防基础科研等项目,获得多项国家和省部级奖励。

钣金件是构成航空航天等产品外形、结构和内装的主要零件。以飞机产品为例,三代机与二代机对比,钣金件总零件减少,但其数量比例并未减少,约占飞机零件数量的 50%。

基于数字化技术发展精密成形是世界各国在钣金成形技术发展趋势方面一致的认识。本课题首先描述了钣金零件制造技术的发展需求和数字化制造技术基础,分析了钣金数字化制造技术的核心,最后介绍了典型应用实例。

在航空航天产品研制中,大型整体壁板、曲线弯边框肋零件、导弹加强框等复杂钣金件精密成形是关键性技术之一。基于数字化技术发展精密成形是世界各国在钣金成形技术发展趋势方面一致的认识。本课题首先描述了钣金零件制造技术的发展需求和数字化制造技术基础,分析了钣金数字化制造技术的核心,最后介绍了典型应用实例。

航空航天产品对钣金件制造技术的要求

随着航空航天产品的发展,对钣金零件的表面质量、形状精度、成形过程稳定性、成形后性能、产品合格率等的要求日益提高。新型飞机气动外形要求更严、寿命要求长,钣金

件不许敲击成形,对钣金件的要求不只是贴合,而且要有稳定的质量和性能状态,飞机机翼外形相对理论外形的偏差一般要小于 0.5,不平滑度小于 0.05~0.15,钣金件弯边高度的精度要求是 $H_{0.1}^{+0.2}$ 。而靠样板等模拟量协调制造的工装外形误差往往达 0.2~0.3mm,局部甚至高达 0.5mm,要提升钣金成形技术水平,钣金件制造的数字化是必然选择。

与其他加工制造方法相比,钣金制造数字化有着更为复杂的技术难题。首先,钣金件外形复杂、薄板料,制造过程包括下料、成形等多个工序,其数字化定义不仅包括零件本身的定义,更包括工序件的定义和优化。为达到精密成形,如何在考虑塑性变形特点、成形回弹等因素的基础

上进行毛坯定义、成形工艺数模定义,如何解决钣金件制造中模具型面的传递与控制等问题变得十分复杂。其次,钣金件成形是塑性变形过程,由于物理上的非线性所带来的不唯一性、不可逆性等引起的工艺上的不确定性,在影响钣金成形质量和生产效率的诸多因素中,能够完全定量把握的并不多。第三,钣金成形过程是一次性的,在较短时间内完成成形过程。成形过程中需控制的主要是成形力、温度等工艺过程参数,而非坐标等几何参数,控制难度更大。由于材料性能的不稳定性和随机性,使工艺参数设计和成形过程精确控制十分困难。因此,需从成形工艺设计、制造模型定义、模具型面控制与设计、工艺过程模拟与综合优化等方面展开研究,形成实现复杂钣金件精密成形的数字化制造整体解决方案。

钣金数字化制造技术基础

钣金件数字化制造是在考虑塑性变形特点、成形质量要求等因素基础上,以数字化技术为手段,通过合理的制造模型数字化定义、模具数字化设计制造、优化的加工工艺参数及成形过程精确控制,使零件成形后不需要加工或仅需少量加工就可满足质量要求,其过程见图1。钣金件数字化制造技术基础包括以下方面。

(1) 钣金件工艺数字化设计技术:以钣金件制造模型信息为依据,完成制造指令设计、工艺参数计算,生成钣金车间加工零件的生产性工艺文件。通过对钣金材料性能数据、典型流程、工艺参数等工艺知识进行积累,把大量经验和试验数据转化为企业内共享知识,通过知识重用技术在钣金制造过程中从知识库中提取合适知识用于钣金成形工艺设计,提高钣金工艺设计效率和成形质量。

(2) 钣金件制造模型定义技术:钣金零件从毛坯到成品零件的成形过程由多个工序组成,下料工序的毛

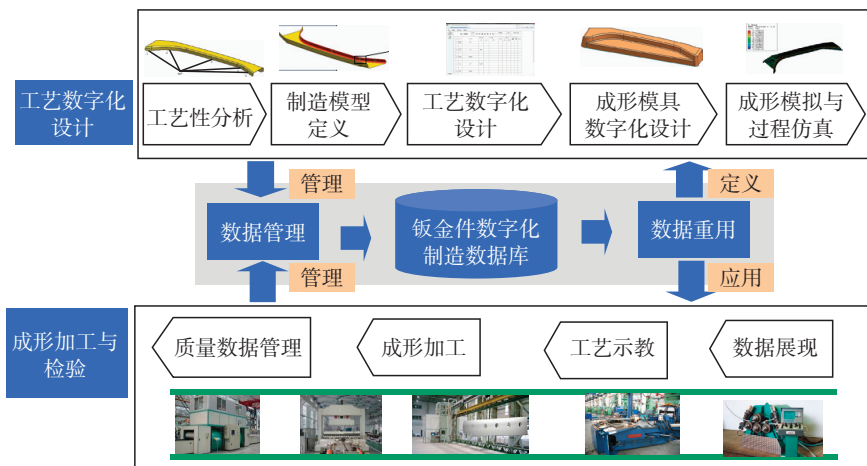


图1 钣金件数字化制造过程

坯和排样模型、成形工序的工件模型和回弹修正模型等共同构成了制造模型。制造模型的精确定义是进行成形工艺过程和模具设计的基本依据,控制着零件精密成形过程。对钣金零件,需考虑零件材料、变形特性等因素,建立毛坯和工艺模型的专用计算工具,为工装设计、工艺参数设计、数控编程等提供数据源,以满足零件精密成形的需要。

(3) 钣金件成形模具设计与制造技术:钣金零件刚度小,橡皮囊液压成形、蒙皮拉形、型材拉弯、导管弯曲、冲压成形等成形工艺,必须用体现零件尺寸和形状的成形模具来制造,以保证其形状和尺寸的准确度。难点在于为了避免成形缺陷(回弹、起皱、破裂等),实现精密成形,模具形状与最终零件形状并不相同。以制造模型为依据,运用数值模拟等技术手段建立模具型面和尺寸修正的综合优化技术,保证精密成形。

(4) 钣金件成形数控编程与设备控制技术:钣金数控成形设备已得到广泛应用,一些重点钣金成形设备均采用了数控化,如数控下料铣、数控拉形机、数控弯管机、数控拉弯机、数控喷丸机等。钣金成形设备的数控化使生产效率、精度和产品适用性较手工成形大为提高。对蒙皮拉形、喷丸成形、数控拉弯等设备,需

要控制的主要是成形力、时间等工艺过程参数,传统上采用经过多次试验的“录返式”方法得到控制程序,无法适应提高加工效率和质量的要求。通过解析各类设备控制程序文件的格式,开发根据工艺参数自动生成数控指令的工具,实现数控编程的自动化和设备的精确控制。

钣金件数字化制造技术核心

钣金件数字化制造过程中,各种信息均以数字形式表达和存储,通过网络在钣金制造的工艺、生产等各业务部门内传递和交换。从以传统的模拟量为载体向以数字量为载体的制造模式的变革,核心在于2个方面:一方面是面向工艺链数字化定义制造模型,作为工艺、工装设计和数控代码生成的依据;另一方面是对工艺知识进行建库和使用,作为信息定义的支撑,从而建立以数字量定义、传递与控制为主的技术体系。

1 基于制造模型的数字量传递与控制

在钣金件设计模型向最终零件的移形过程中,由于成形过程中材料性能的影响以及回弹等因素,成形钣金件的模具形状与设计的零件最终形状存在一定偏差,而不是设计模型的简单传递。制造模型与设计模型是同一对象的2个不同部分,适用于

2个不同阶段。在基于模拟量传递为主的钣金件制造模式中,钣金件制造工艺过程各环节的几何形状没有严密的数字定义,零件制造准确度难以提高。钣金件设计模型准确描述了最终形状和尺寸,但未考虑钣金件工艺过程的中间状态,无法解决设计信息向制造延拓的矛盾。确定工序顺序和内容后,制造模型是考虑工艺因素,把传统制造模式中以模拟量作为载体的零件形状和尺寸信息采用数字量表达和定义,是工艺资源设计和工艺过程进一步设计的依据。其作用包括用于工艺装备设计、工艺参数和数控程序设计。

如图2所示,基于制造模型的数字量传递与控制是通过面向工艺过程定义工件模型和工艺模型——移形到工艺装备——生成数控程序——以数字量传递至数控设备这样一个并行数字化制造过程,其实质在于毛坯组合排样模型、成形工艺模型等下料、成形、检验各控形节点中的CAD几何模型直接用于成形模具设计、检验工装设计、制造指令设计、工艺参数设计、数控加工等环节;基于工装的数字化模型,能在样板制造、模具制造中始终保持给定的公差;考虑回弹等因素直接修正后进行模具设计;这就消除了从检验标准装备到工作装备再到零件的模拟量传递的若干中间环节引起的误差,减少了人为不确定因素的影响,改变了反复试错的制造方

式,从而实现精密、快速和低成本制造。

2 基于工艺知识的钣金件工艺过程设计

钣金件及其成形工艺的种类繁多、成形过程的多因素性决定了钣金件制造依赖于在长期实践中积累的经验知识,钣金件工艺过程设计是知识需求密集的过程。在钣金数字化制造中,除了使用CAx系统辅助设计工作之外,同时还需要钣金制造知识的支持。对已有知识的重用包括知识建库和知识使用2个基本的过程。如图3所示,基于知识的钣金制造要素定义是对钣金制造领域知识进行建库存储,在钣金件数

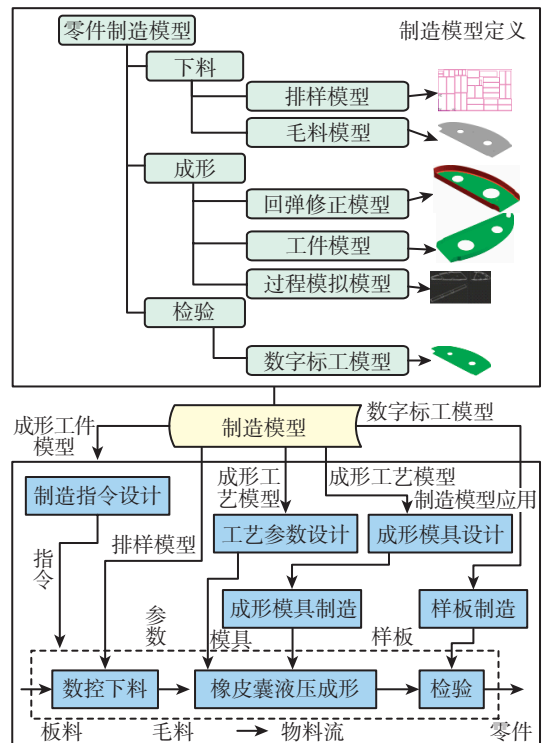


图2 钣金件制造模型及其应用实例

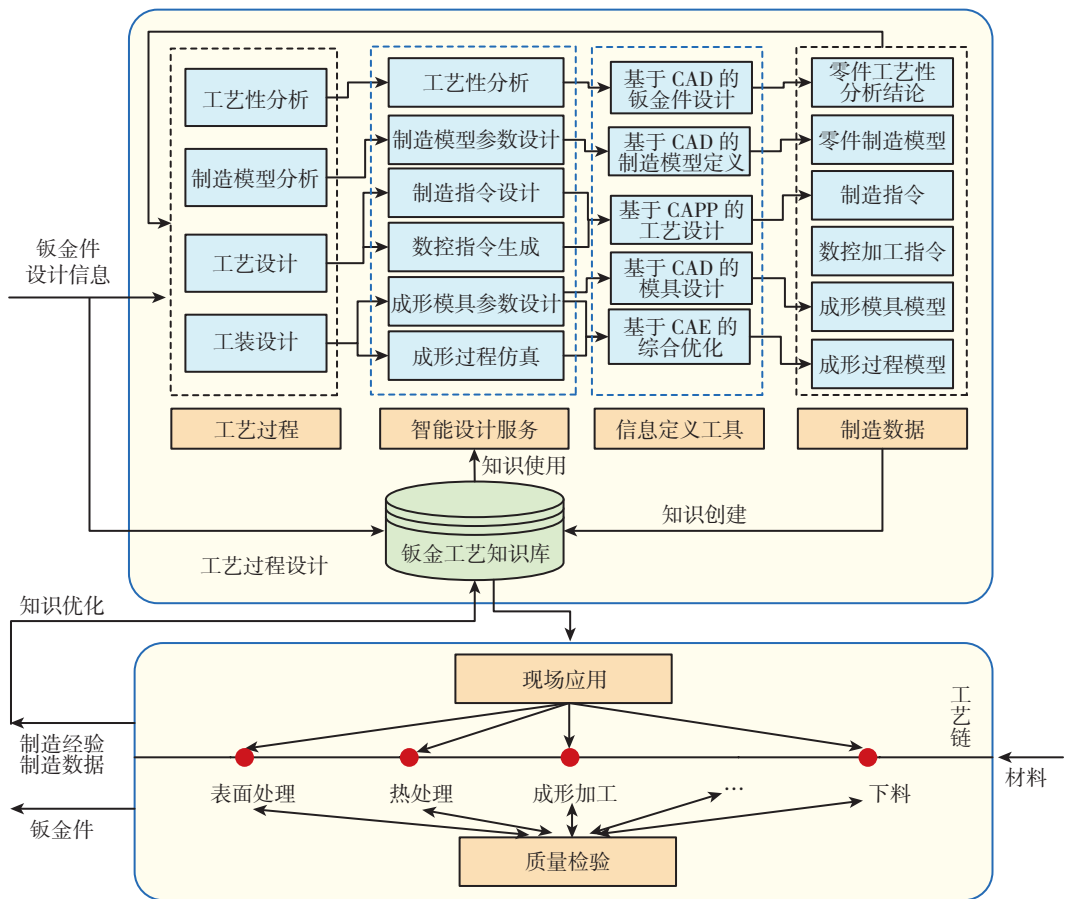


图3 基于知识的钣金数字化制造

数字化制造过程中,应用系统根据钣金零件信息从知识库中检索已有知识而使知识重现,形成问题的解,同时创建的新知识不断更新到知识库中。

在对企业钣金工艺设计大量调研的基础上,对钣金工艺知识进行分类成型谱图,对基本类型知识进一步分解为信息后建立钣金工艺知识库框架;对知识采集和入库,首先定义钣金工艺领域术语,在此基础上创建制造指令知识、各种成形工艺参数设计知识、成形模具设计知识等内容。采用基于 Web 的架构对知识进行管理,分布式环境便于工艺人员查阅、选用、修正和不断积累。

典型应用案例

1 框肋零件橡皮囊液压成形

框肋零件是飞机机体骨架中的组件,担负着确定飞机外形和承受气动载荷的双重任务。框肋零件的结构要素包括腹板、弯边、加强窝、加强槽、减轻孔、下陷等。弯边按几何形状分为直线弯边、凸曲线弯边、凹曲线弯边,有气动外形要求的零件弯边有较严格的精度要求。

采用基于制造模型的数字量传递方法,橡皮囊液压成形模具外形的设计(见图4)依赖于制造模型中的成形工艺模型而不是直接依赖零件原始数模。成形工艺模型考虑了零件的回弹等因素,给出修正方案及修正参考值,对型面和尺寸进行了合理的预修正。通过对框肋零件回弹修正设计知识的整理和存储,建立框肋零件回弹修正模型设计知识库,支持框肋零件回弹量的预测。以制造模型为框肋零件橡皮囊液压成形工艺过程的数据源,改变了反复试错的制造方式,简化了模具设计的工作,减少了人为不确定因素的影响,提高了模具设计的效率,同时可保证零件成形后的精度,提高零件制造的质量,实现零件的精密、快速和低成本的生产。

2 型材拉弯成形

航空航天产品结构中型材零件有框、肋梁的缘条和长桁零件等,是构成产品骨架的主要结构件。以导弹加强框为例,该类零件是导弹横向承力元件,除了维持弹身外形,其主要的功用是承受弹身的横向集中载荷,由于导弹产品对零件强度的要求使得零件壁厚、材料硬度大,难于成形。通过发展拉弯过程精确成形与智能控制技术,建立数字化拉弯系统,如图5所示。

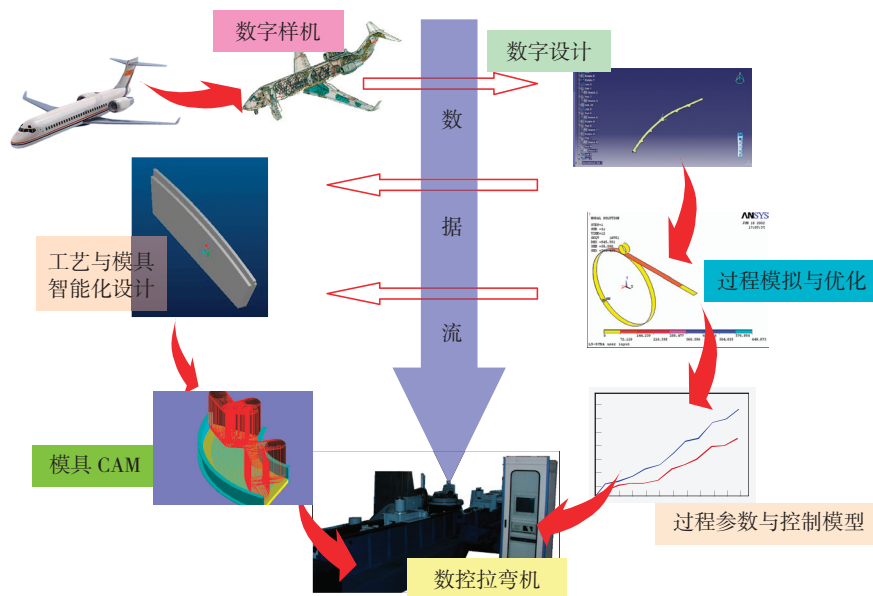


图5 型材数字化拉弯过程

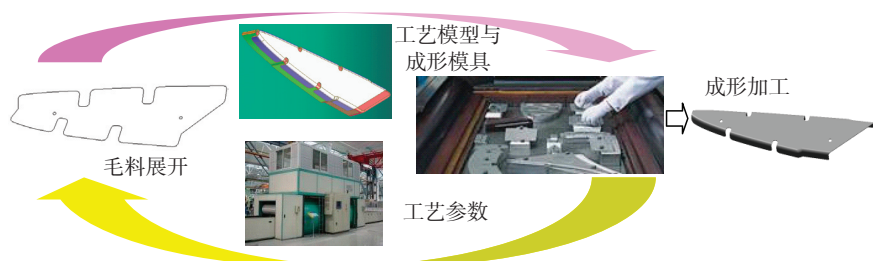


图4 框肋零件橡皮囊液压成形

根据拉弯毛料的材料特性、几何形状、模具外形尺寸、机床工作参数、加载方式、摩擦润滑情况,结合塑性力学与工艺参数设计知识库,计算拉弯工艺参数,根据计算参数自动生成数控加工程序,用以控制数控拉弯机成形过程,该技术已将回弹角控制精度由 1.2° 提高至 0.2° ,实现型材零件

精密成形。

结束语

数字化是现代制造技术发展的核心。航空航天产品钣金件种类繁多、结构复杂,既具有共同的生产特性,又具有各自的工艺特点,制造模型和工艺知识是钣金件数字化制造的核心所在。由于钣金工艺的特点其实现数字化的难点,钣金精密制造技术发展需要从基础研究、应用研究、成果工程化这样一个过程紧密衔

接,经过长时间的自主研究和工程化过程,绝非引入几套设备、软件就可以形成实现精密成形的钣金件数字化制造技术能力。近年来,国内在国防基础科研、民机专项等项目支持下,结合型号产品的研制,已突破了多项关键技术,为我国全面掌握精密成形技术奠定了基础。(责编 良辰)