

论航空钣金模具数字化设计制造技术的发展

Development of Digital Design and Manufacturing Technology
for Aircraft Sheet Metal Mould

成都飞机工业(集团)有限责任公司技术装备设计所 刘光伟 万世明 何万飞 王 强



刘光伟

毕业于北京航空航天大学,高级工程师,1983年至今一直从事航空工装数字化CAD/CAM技术研究和开发。曾参与公司CIMS工程工装子系统、公司信息化建设工作。

在现代化工业生产中,许多新产品的开发和生产在很大程度上都依赖于模具。由于模具成型具有效率高、质量好、节省原材料、产品成本低等优点,采用模具制造产品零件已成为当今工业生产的重要工艺手段。在航空、航天、汽车、机械、电子、轻工等工业领域里,模具已成为使用最为

数字化设计制造技术是当今模具设计制造行业乃至机械制造行业技术发展的必然趋势,是一项制造技术的变革,是提高企业技术水平及竞争力的重要举措。

广泛的工业化生产的主要工艺装备。据国际生产技术协会预测,21世纪机械制造工业零件粗加工的75%和精加工的50%都将依靠模具完成。模具工业已成为国际经济的重要基础工业,其技术水平的高低已成为衡量一个国家制造业水平高低的重要标志之一。

模具设计制造技术的发展大致经历了以下几个阶段:早期,模具制造主要靠手工完成,其制造精度全凭设计经验及手工技艺;70年代前,随着机械制造设备技术的发展,模具制造逐渐采用手工操作加普通机床与工具的机械制造方式来完成;稍后,随着精密机床的出现,以精密成形铣、磨工艺,电火花成形加工工艺、NC电火花线切割加工工艺制造的模具,在模具加工手段及精度上都有所提高。但是靠纸质人工绘图的设计方式和

纸质信息传递的制造方式,设计制造间的工艺信息传递和转换基本是独立串行进行的,特别是涉及到一些曲面加工,还是采用模胎、样板等模拟量协调制造。一些较为复杂的设计计算单靠人工基本无法完成,从总的情况来看,其设计方式、制造质量受到一定限制。

国内外航空钣金模具数字化技术发展现状分析

1 国外航空钣金模具数字化技术发展现状分析

以美国波音公司为代表的世界航空制造公司在波音787客机中大量采用数字化设计制造技术,实现了从设计、制造、管理的数字协同并行一体化,并且大量采用模具自动化、智能化设计制造技术,使产品研发周期从过去的8-9年缩短到3-4年,

缩短了 50% 以上,成本降低 35%,出错返工率降低 75%,用户满意度也大幅度提高。

许多跨国公司应用先进数字化设计制造技术,加强了在国际市场的垄断地位。美国通用汽车公司应用数字化模具集成制造系统技术,将轿车的开发周期由原来的 48 个月缩短到了 24 个月,碰撞试验的次数由原来的几百次降到几十次。面向国防、航空、航天等方面的模具超精密加工技术,面向制造业的高精度、高效率、低成本和高柔性的模具基础制造技术等已成为目前研究开发的重点,先进制造与自动化模具设计制造技术已经成为带动制造业模具行业发展的重要动力。

2 国内航空钣金模具设计制造的技术现状分析

由于航空产品钣金件品种多、成型零件的类型多、形状复杂、批量小、质量要求高、产品更新速度快而形成航空钣金模具的品种多、数量大、精度要求高,设计制造周期长,因此航空钣金模具的设计制造精度、方式和周期多年来一直是航空钣金模具设计人员所研究的问题。

航空钣金模具主要有冲裁模、弯曲模、拉伸模、拉型模、拉弯模、型胎模和下陷模等。多年来,它的设计大都是凭借设计者直接和间接的知识和经验,通过类比法或经验公式来进行设计。模具设计大部分以二维设计为主,模具型面以模线样板、样件、模胎等模拟量的方式进行传递协调,模具制造精度及配合面的协调性不易保证。模具设计制造过程基本上采用串行方式进行,各部门相对独立工作,技术准备工作不能并行开展,设计制造问题不能及时暴露,工程更改信息不能及时反馈协调,模具设计制造返修量较大。

随着我国国防工业和制造业的发展,国防和民用市场对产品需求不断增加,航空产品更新换代的速度在

不断加快。航空产品向多品种、小批量、复杂、精密、高质量和短交货期的方向发展。要求钣金模具具有更短的周期、更低的成本和更高的质量。随着企业信息化和设计、制造数字化技术的不断深入发展,传统的二维通用模具设计的方式已不能满足现代航空产品生产的需要。

近年来,随着三维 CAD 技术及数字化技术、网络技术的不断发展,以 PDM 数字化管理、数字化三维设计、三维加工数模、数字量传递、数字量检测、NC 数字化加工为代表的数字化航空钣金模具制造技术得到快速发展。航空钣金模具设计人员可直接获取航空产品零件数模进行钣金模具型面设计,一些 CAE 技术的发展在模具设计计算中也得到有效利用。表面样件、正反模型等实物标准工装已被数字标准工装和工艺数模取代。精益制造、精确成形、无余量装配等技术也得以应用。另外,大多航空企业还引进了数控纵、横向蒙皮拉型机,数控型材拉弯机,数控旋压机床和数控钛合金热成型机床等先进数控成型设备。这些先进的成型设备不仅包含成型的工艺信息(回弹参数),而且可根据这些工艺信息分析出机床成型参数(如成型力、成型速度、成型角度等),同时三、五坐标数控测量机也逐渐用于数字化检测。模具制造的数控加工和检测能力也得到进一步加强,形成了一套有效的数字量传递一体化协调体系。其间,由于三维 CAD 技术的发展,CAE 技术也得到深入应用。同时部分企业也陆续开发了一些数字化钣金模具专业 CAD 软件,使航空钣金模具设计制造技术得到了跨越式发展。

航空钣金模具的发展趋势

1 薄板钣金零件成形模具设计制造(拉型模、拉伸模、钣金零件)

目前国内部分企业已引进

PAM-STAMP 模拟仿真软件并在盒型件拉伸仿真分析中投入应用,此类软件能较准确模拟薄板钣金零件成型的全过程,找出零件成型的薄弱区域和危险点,能给出成型机床所需的成型参数,特别是用于分析复杂不规则零件的成型。此类软件具有较大优势,减少了大量繁琐的工艺计算,但无法给出模具设计的合理参数和解决途径,解决问题还是靠技术人员知识储备和经验,通过多次的参数设置来模拟成型,最终找到合理的设计参数,软件本身的人工智能化还有待进一步开发。

2 型材类零件模具设计制造(拉弯模)

现代航空产品结构中,大量采用各类型材。这类零件具有较高的抗剪抗弯强度,但是成型却非常困难。国内还没有较好的模拟拉弯成型仿真软件。由于型材类零件形状各异,种类较多,而且截面上各边的料厚不一致,这样也给软件开发造成困难。钣金模具设计时主要靠工艺数模,而工艺数模是凭经验估算给出回弹补偿量,试模时需辅以大量手工校正或反复修模,从而易造成型材类零件成形精度低、生产效率低和表面质量较差的问题。解决此类问题的方法是将各类型材按截面进行分类,建立具有不同材料、不同规格、不同形状的工艺补偿(回弹)经验参数库,开发相应的软件系统并用有限元模拟仿真软件进行模拟仿真分析,完成钣金模具设计。

3 板弯件橡皮囊成型钣金模具设计制造(型胎等)

该类零件主要是飞机的肋、框和少量的系统件,数量较大,飞机装配时同样需要准确的外形。此类零件经过多年生产经验的积累已掌握了大部分零件材料的回弹参数。部分企业采用已掌握的回弹参数进行工艺数模的设计,模具设计依据工艺数模建立钣金模具数模,实现数字化制

造,产品零件成型时采用橡皮囊液压成型,大大提高了产品质量,但是建立工艺数模难度较大,需要十分娴熟的建模知识和工艺知识。开发输入工艺回弹参数能生成工艺数模的软件是实现此类模具数字化设计制造的关键。目前此软件在国内航空院校正在研制中。

4 冲模类模具的设计(连冲模、复合模、弯曲模、拉伸模)

此类模具主要包括连冲模、复合模、弯曲模、拉伸模,模具的设计周期相对较长。为解决设计制造周期问题,国内航空院校在三维 CATIA 软件上进行二次开发,成功开发出了此类模具的快速设计系统。该软件只需输入部分参数就能自动生成三维模具数模和二维模具图,提高工效约 2 倍以上,大大缩短了航空产品研制的周期。

5 钛合金类模具的设计制造(热压模等)

钛合金航空产品通常采用加热成型,成型温度在 750°C - 900°C , 由于模具与产品零件之间的热膨胀率不一致,模具设计时必须考虑模具型面缩尺(常用值 3%)。此类模具多为利用三维设计软件体积缩放加经验知识驱动进行放缩尺,并依据缩尺数模生成模具三维数模。此类方法经过生产现场验证,生产的产品零件精度大大提高,基本达到产品零件的设计精度要求。

6 数控多点成型模

随计算机技术的发展,采用计算机控制多点拟合型面技术已在越来越多的企业得到应用。拟合型面随着工艺数模调整而调整。只需模具设计人员设计出模具数模,计算机调用模具数模就能生成实物模具。例如多点成型蒙皮拉型模,它已不是我们传统意义上的模具,更像一台数字化的设备,这样的数字化技术的采用,省去了模具和模具制造,节约了生产成本,缩短新机研制周期。

7 手打模、冲裁模、弯曲模

此类模具数量大,但结构较简单,设计技术难度不高,其主要解决设计周期的问题。以基于三维 CAD 软件的二次开发为主,建立基于设计流程和知识驱动的知识库,研发快速设计软件,降低设计周期。

模具数字化设计制造体系结构

航空钣金模具设计制造行业发展的出路和方向是提高数字化能力。而数字化技术是集管理、设计、分析、制造、检测等模具制造整个生命周期内各个环节一体化技术的综合应用。在数字化管理方面重点发展以 PDM/ERP/MES 及无纸化设计制造等数字化技术;设计技术方面,重点发展 KBE/CAD/CAE/CAPP/数字信息网络一体化技术;在制造方面重点发展以一体 NC 程编和数控技术;在检测方面,重点发展在线检测及数字量协调技术。

钣金模具数字化设计制造体系结构如图 1 所示,总体分为 6 个部分,即支撑环境、数据集成管理平台、设计制造数据接口、设计制造应用技术、运行模式、设计制造管理系统。

1 支撑环境

支撑环境由计算机网络、计算机服务器/终端用户(B/S)、数字化设计制造各种规范、数控加工/检测设备等组成。目前,大部份航空企业都建立了企级园区网,并以达到主干 1000m/s,客户端 100m/s 的传送速率,为数字化技术应用建立了良好的基础。

2 数据集成管理平台

数据集成平台由产品数据管理系统(PDM)、制造资源计划(ERP)、制造执行管理系统(MES)及钣金模具设计制造知识库组成。PDM 主要进行工程文档管理、工作流程管理、电子审批管理、工程更改管理、产品构形管理、信息交换与发布等数据管

理功能;ERP 主要包括企业设计制造各种资源,生产计划和反馈;MES 主要是模具制造执行过程管理(其中包括制造计划、进度)等制造过程的动态管理。

在数字化设计中,建立数据库是非常重要的基础性工作,它是数字化设计制造的动脉,包括设计数模、知识库、仿真分析参数库等,是数字化及智能化设计所必须的内容。

(1) 产品设计数据库。

产品设计数据库是模具数字化设计制造的依据,是产品成型零件的原始数据。建立产品数据库并通过 PDM 集成,在产品工艺设计、模具设计、仿真分析、数控制造、数字量检测整个数字化设计制造下游过程中,可采用并行工作模式(包括产品更改),各部门可提前进入工艺、设计、生产准备(包括设计、工艺更新),从而缩短产品制造周期。

(2) 产品工艺数据库。

产品工艺数据库是产品继产品数据库之后所建立的有关产品制造工艺(CAPP)系统所形成的数据库。这类数据库主要包括工艺分工、协调依据、加工工艺等产品工艺设计所形成的数据、数模,为下游部门提供了制造依据。

(3) 工艺数模数据库。

工艺数模数据库是根据工艺设计(包括模具设计)的需求在产品数模基础上而扩充建立的数模,是为产品制造和钣金模具设计、数字化检测服务的。

(4) 模具设计知识库。

模具设计知识库是智能化模具设计的基础,其中包括各类模具的模具结构、模具标准件库及设计经验知识库等。而设计经验知识库是模具设计知识库的核心,是模具设计人员多年所积累的宝贵的资源,是支持实现以经验为主的模具设计制造技术向基于知识推理的智能化设计技术转变的重要资源。

(5) 模具数字化分析数据库。

钣金模具数字化分析数据库主要是建立成型分析所涉及到的金属成形回弹、起皱及破裂、应力应变等经验参数和各种材料参数,是钣金模具数字化分析的重要依据。

(6) 模具工艺设计知识库。

钣金模具工艺设计知识库由模具 CAPP 系统所产生的模具制造工艺方法和加工指令及数据组成。随着近年来基于知识推理的智能化 CAPP 技术的发展,工艺特征库、典型工艺库在模具工艺设计知识库中占据了很重要的地位。

(7) 模具 NC 加工数据库。

钣金模具 NC 加工数据库是模具数控加工所需的各类设备资源参数、成型参数、NC 加工代码、刀具等数据库,是钣金模具数控制造的重要资源,是数字化制造中的必须的数据。

(8) 数字化检测数据库。

数字化检测是模具数字化设计

制造的验证技术,是数字量向模拟量协调方式转变的系列数据库之一,是数字量传递最后的检验环节。这类数据库是数字化生产中一类重要资源,是钣金模具制造质量管理的重要数据。

3 数据接口

数据接口主要解决模具设计制造各异构系统间数据结构转换,以保证数字化设计制造间数据的畅通传递,使整个模具设计制造生命周期中以唯一数据源传递,保证数据协调性和减少误差。

4 应用技术

应用系统是将钣金模具数字化设计制造过程中各单项数字化应用系统以基于网络的集成一体化技术进行集成,使三维数字化产品设计、产品工艺设计、产品工艺数模设计、模具设计、仿真分析、模具工艺设计、数控编程与加工、数控测量等各项技术得以协调运行。实现全数字量协

调传递,以提高模具数字化设计制造质量、缩短设计制造周期。

(1) 产品数字化设计。

产品数字化设计必须以三维设计为基础,采取并行工作方式,在概念设计、详细设计和最终设计的不同阶段,以不同成熟度、分阶段将设计数模发送进入产品设计数据库,以便下游各部门提前进行工艺方案、工艺数模、钣金模具、模具工艺、数控加工等一系列生产准备、预设计和最终设计,并在各设计阶段,通过网络协调下游所反馈的问题和修改建议,将产品设计更改及时反馈到下游各子系统。其中各系统间数据传递的及时性非常重要。

(2) 产品数字化工艺设计。

产品数字化工艺设计是继产品设计之后的第 2 个环节,是产品制造的首要工作,主要制定产品制造工艺总方案、装配及零件协调方案,制定钣金模具工艺品种表、零件制造工

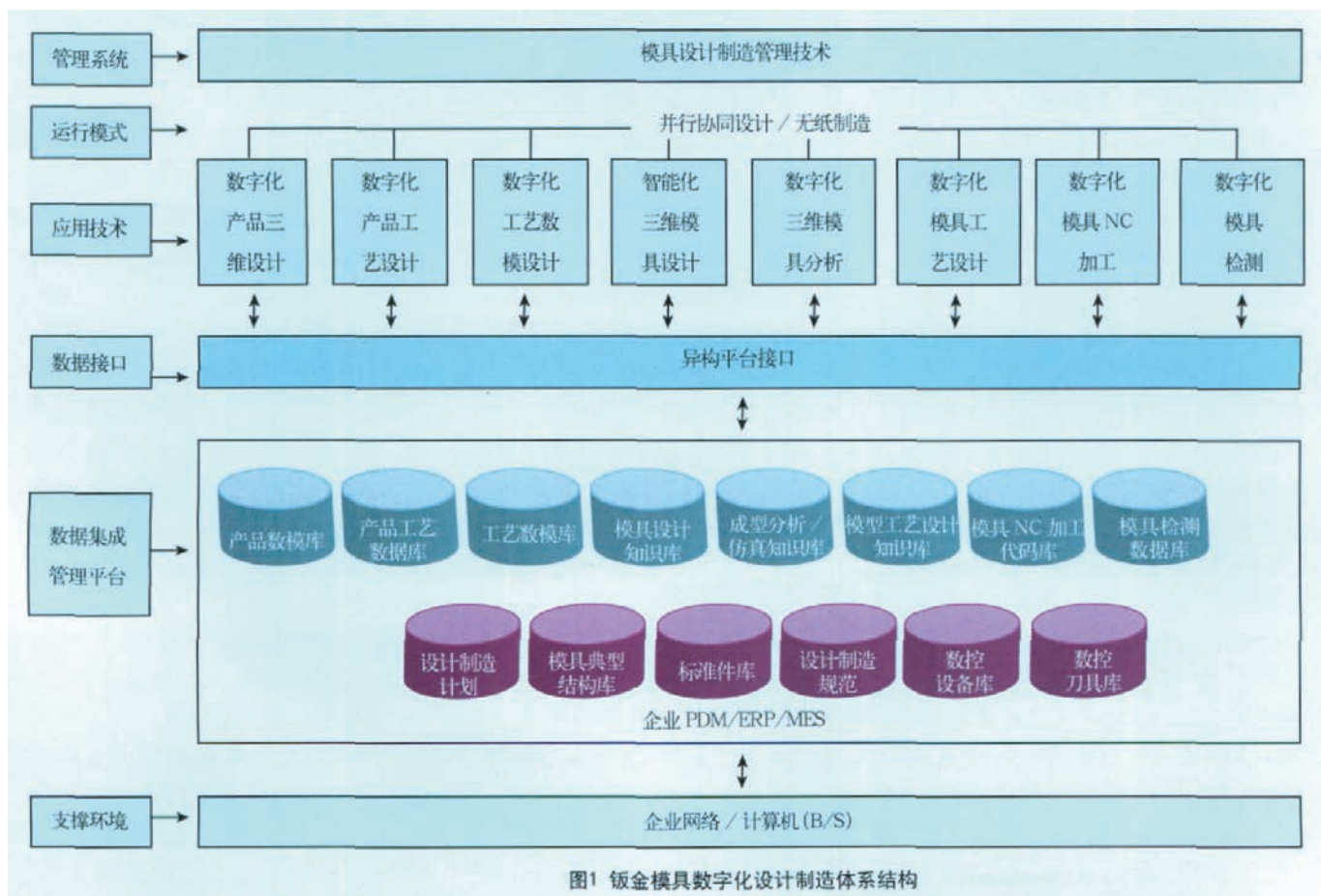


图1 钣金模具数字化设计制造体系结构

艺、模具订货需求等产品制造所有工艺设计,在并行工作模式下,反馈产品设计问题、修改工艺方案,并为下游分阶段提供各项数据进入工艺设计数据库。其中,工艺三维仿真、以全数字化代替纸质工艺是数字化工艺设计的重要工作内容。

(3) 工艺数模设计。

工艺数模是在产品数模基础上增加工艺余量和定位基准等而重构的数模,是模具设计和数字量协调的设计依据,这类数模远比产品数模设计量大,品种多,其中包括数字量传递的工艺协调依据,是数字化制造中的一个重要环节。

(4) 数字化钣金模具设计技术。

基于知识的工程(KBE)技术是面向现代设计决策自动化的重要工具,已成为促进工程设计智能化的重要途径。KBE技术作为一种新型的智能设计思想,将对模具的智能、优化设计产生重要影响。三维CAD技术、KBE技术的发展以及模具设计的标准化,为模具设计提供了良好基础平台和技术基础。此技术引入到模具设计中,将前人的经验和知识进行科学的、系统的提炼,形成系列的专家智能知识库,通过三维CAD软件的二次开发,形成钣金模具智能化设计系统,人工经验设计方式转化为基于知识推理的设计方式。设计人员根据产品设计模型和工程设计要求,按照模具设计流程和模具设计经验知识库,实现模具的快速设计,并可充分利用和保存模具设计的经验和知识,提高模具设计的速度和质量,降低设计的成本,使企业长期积累的知识能得到继承与共享,并对模具设计过程中的设计文档和设计数据进行一体化管理,提高模具设计速度,缩短模具设计周期,降低模具设计成本,有利于再利用已有的模具信息,充分利用和保存自身在模具设计中的资源。

(5) 钣金模具数字化分析。

在模具设计制造中,模具数字化

分析是一项非常重要的关键技术,它是保证钣金成型质量和可靠性的前提。同时也可减少大量试模工作。其中包括金属成形起皱及破裂分析、应力应变和回弹分析、过程的仿真模拟分析等。因其与成型材料,成型形状,成型方式有直接联系,所涉及到的技术难度大,大多根据大量试验及经验数据进行。目前许多大专院校和研究机构都在研究这类技术,目的在于提高模具设计质量。

(6) 模具 CAPP 技术。

CAPP 技术在我国模具企业中发展较早。多年来,模具 CAPP 技术大多靠企业自身开发和应用,以二维人工填表式设计为主,工艺设计人员设计量大,不易保证质量。近年来,随着三维设计技术的发展,以三维工艺特征识别、基于知识推理的智能化 CAPP 技术得到重视,此项技术是在三维设计数模的基础上,通过三维工艺特征识别、提取,并通过加工特征的典型工艺加工方法库,直接转换为工艺加工指令,实现智能化工艺设计为主,减轻了工艺人员劳动强度,提高了工艺设计质量,缩短了工艺设计周期,降低了生产成本。

(7) 数字化钣金模具制造。

模具加工精度(从粗加工到各种精加工、光整加工)将更多地依靠各种自动化程度较高的精密、高效数字化加工设备。这些先进制造技术的应用将对缩短模具制造周期,加快新产品的开发速度及提高模具质量有着显著的成效。数控和计算机技术的不断发展使它们在许多模具加工方法中得到了越来越广泛的应用。在制造方面,数控高速铣削、电火花加工、快速制模、超精加工和微细加工、复合加工、表面处理、研磨抛光及模具 CAM/DNC 技术等模具加工综合一体化技术是目前的发展趋势。

• 数控高速铣削技术

由于高速数控铣削(HSM)技术可以替代磨削加工,减轻模具的研

抛工作量,在模具加工上应用越来越多。而高速铣削与超精加工、干硬切削加工相结合,可以大大提高模具加工质量,缩短模具制造周期,被更多模具制造企业所采用。

• 电火花加工(EDM)技术

虽然高速铣削也能满足部分模具高精度型面加工要求,但成本比 EDM 高。对于 HRC60 以上的高硬材料,EDM 要比 HSM 成本低,同时较之铣削加工,EDM 更易实现自动化。复杂、精密小型腔及微细型腔和去除刀痕、完成尖角、窄缝、沟槽、深坑加工及花纹加工等将是今后 EDM 应用的重点。

• 快速原型制造和快速制模(RPM/RMT)技术

模具 RPM 技术可直接或间接用于 RMT 金属模具。快速制造技术的目标是直接制造可用于工业化生产的高精度耐久金属硬模。间接法制模的关键技术是开发短流程工艺、减少精度损失、实现低成本的层积和表面光整技术的集成,因而具有广阔的发展前景。

• 超精加工、微细加工和复合加工技术

随着模具向精密化和大型化方向发展,超精加工、微细加工和集电化学、超声波、激光等技术于一体的复合加工将得到应用。目前超精加工已可稳定达到亚微米级,纳米精度的超精加工技术也已被应用到生产中。电加工、电化学加工、束流加工等多种加工技术已成为微细加工技术中的重要组成部分。国外已有用波长仅 0.5nm 的辐射波制造出的纳米级塑料模具。在同一台机床上使用激光铣削和高速铣削相结合,使模具加工技术得到了新的发展。

• 先进表面处理技术

模具热处理和表面处理是决定能否充分发挥模具材料性能的关键环节。真空热处理、深冷处理、包括 PVD 和 VCD 技术的气相沉积(Tin、

Tic 等)、离子渗入、等离子喷涂及 TRD 表面处理技术、类钻石薄膜覆盖技术、高耐磨高精度处理技术、不沾粘表面处理技术、模具表面激光热处理、焊接、强化和修复等技术及其他模具表面强化和修复技术已在模具制造中应用,并显示了良好的发展

具自动加工系统应有如下特征:多台机床合理组合;配有随行定位夹具或定位盘;有完整的机具、刀具数控库;有完整的数控柔性同步系统;有质量监测控制系统;也有把粗加工和精加工集中在同一台机床上的模具加工系统,这类技术将逐步得到

状测量方法。三角法是根据光学三角形测量原理,利用激光光源和光敏元件之间的位置和角度关系来计算零件表面点的坐标数据,可分为点光源、线光源和面光源测量法。该测量方法使用方便,运算速度快。

目前,机械手的应用使模具检测实现在线检测,可以在数控机床上不通过卸模直接进行检测,实现了加工/检测自动一体化,是较为先进的一种检测技术。

5 管理系统

管理系统主要是集成设计、工艺、制造、检测的整个模具生产过程管理,达到统一协调运行,这类技术的应用主要是集成 PDM/ERP/MES 等管理系统的各种管理功能,形成一体化集成管理系统,以保证整个模具设计制造流程的协调运行。

6 运行模式

采用并行设计制造的模式,应用数字化设计制造技术将产品钣金零件设计、产品零件工艺设计、智能化模具设计、分析仿真、模具工艺设计、数控加工制造及产品试模/交付等整个过程融为一体,并通过在生产现场配置网络及客户端,实现无纸设计制造,完成整个模具数字化设计制造过程,如图 2 所示。

结束语

数字化设计制造技术是当今模具设计制造行业乃至机械制造业技术发展的必然趋势,是一项制造技术的变革,是提高企业技术水平及竞争力的重要举措。

航空钣金模具的数字化设计制造技术是提高我国现代航空制造技术水平的一项重要内容。发展航空数字化制造技术是航空企业必须进行的一项重要工作。让我们携手共进,以快速发展航空数字化制造技术水平,提升我国航空制造业在世界航空业的竞争力而努力奋进。

(责编 阳光)

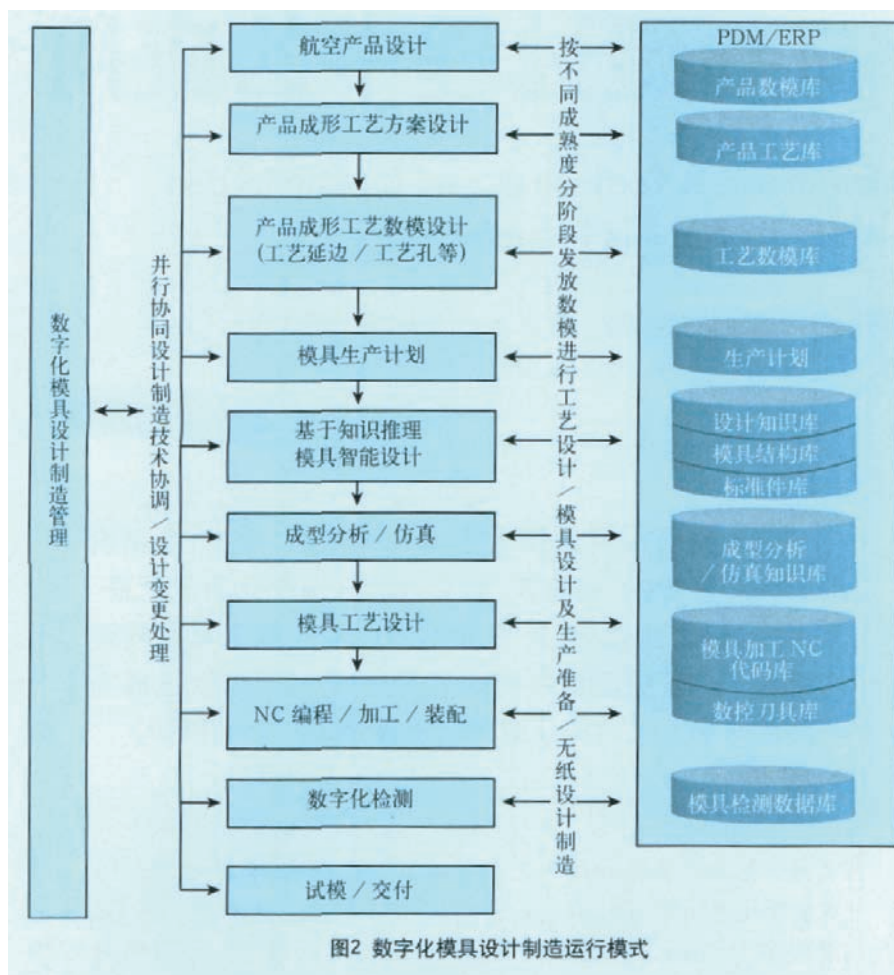


图2 数字化模具设计制造运行模式

前景。

- 模具研磨抛光的复合化、自动化、智能化技术

随着数控技术的发展,我国已引进了可实现三维曲面模具自动研抛的数控研磨机。特种研磨与抛光技术,如挤压研磨、激光研磨和研抛、电火花抛光、电化学抛光、超声波抛光以及复合抛光技术是今后的发展方向。

- 模具自动加工系统

随着各种新技术的迅速发展,国外已出现了模具自动加工系统。模

发展。

(8)数字化检测。

数字化检测设备分接触式和非接触式。接触式测量主要以三、五坐标测量机直接通过型面表面进行测量,是应用最广泛的一种测量设备。接触法测量的测头要在工件上逐点测量,所以测量速度较慢,而一般用作零件的形位误差检测,另外被测工件的材质也不能过软。而在非接触式测量方法中,基于三角形法的激光扫描和基于相位光栅投影的结构光法被认为是目前最成熟的三维形