

飞机结构件数控加工 智慧工厂之路

Trajectory of Intelligent Factory in CNC Machining of Aircraft Structural Part

中航工业成飞数控加工厂 汤立民 牟文平 宋戈



汤立民

中航工业特技技术专家,中航工业成飞制造技术专家,研究员级高级工程师,南京航空航天大学兼职教授。“高档数控机床及基础制造装备”国家重大科技专项总体组专家、主机组副组长,国家机械设备评审专家。

先进数控加工技术是当代航空制造业的关键技术之一,也是柔性制造技术的基础。我国航空事业的发展壮大,给航空制造业带来了前所未有的发展空间和机遇。飞机结构件数控加工企业高端数控装备明显增

“智慧工厂”的提出、发展和实现,为传统的制造型厂商提出了新的发展方向。通过清楚掌握资源运转流程,提高生产过程的可控性,减少人工堆生产线运行的干预、及时准确地采集工厂运行数据,以及合理的生产编排等,达到提升航空制造企业核心竞争力及提高生产效率的目的。智慧工厂的实现,离不开技术创新的支持和信息技术的应用。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.05.026

加,飞机结构件的产量也显著提升。由于飞机结构件结构设计趋于复杂化、几何尺寸趋于大型化、基体材料趋于多样化,对数控加工技术提出了更高的要求。于此同时,传统的生产组织管理、资源协调调度的效率和控制方法,已经难以满足产品发展对生产能力的的需求。

在这样的背景下,经过多年信息化与工业化的融合建设,我国航空制造数控加工技术已取得了长足的进步。例如,以特征技术为基础的飞机结构件 CAD/CAPP/CAM 集成系统技

术、智能化 CAPP 技术、车间级的生产组织管理与调度技术、分布式的 DNC 技术、数据库及专家知识库等有了很大的提高。

但是,与工业发达的国家相比,特别是与以德国、美国、日本为代表的制造业强国相比,在高端数控机床、智能化工艺技术、先进物流体系及数字化管控平台建设等方面尚有差距。因此,如何依靠信息技术与工业技术的融合,进一步提升我国航空制造企业的自动化水平,以及人与物、人与生产的有机结合,实现飞机

结构件数控加工技术质的提高,是我国航空制造业必须思考和经历的智慧工厂之路。

航空制造技术发展趋势

1 以数字化为核心

数字化制造是制造技术、计算机技术、网络技术与科学管理的交叉、融合、发展和应用结果。

对制造企业而言,各种信息均以数字形成通过网络在企业内传递。在虚拟现实、快速原型、数据库等多种数字化技术的支持下,对产品信息、工艺信息和资源信息进行分析、规划与重组,实现对产品设计和产品功能的仿真、加工过程和生产组织过程的仿真,或完成原型制造,从而实现生产过程的快速重组与对产品需求的快速响应。

2 以自动化为基础

随着数字技术的发展,“自动化”技术已从单纯的自动控制、自动调节、自动补偿、自动辨识,发展到自主学习、自组织、自维护、自修复等更高的自动化水平。自动控制的内涵与技术水平也已在控制理论、控制技术、控制系统、控制元件等方面得到了全面发展。通过可靠的自动化技术,可以实现对数控装备、车间物流系统、监控系统开展运行模式升级,以适应生产过程柔性、高效、智能化的需求。因此,自动化是先进制造技术发展的前提条件。

3 以集成化为措施

现代航空制造数控加工企业的集成,是融合了机电一体化技术、先进传感技术、智能加工技术、先进工艺技术、数字处理技术的有机体系。它打破了传统的生产工段、工艺技术、信息处理、辅助资源等单独运转的模式,将加工企业作为一个有机整体将生产信息、生产功能、生产过程等进行集成,实现运行模式的转变,提高产品生产效率及对产品质量的控制。

4 以网络化、智能化为道路

制造技术的网络化、智能化是航空制造数控加工技术发展的必由之路。依靠成熟的网络化技术,新型的虚拟制造组织已经完成了诸如A380、Boeing787、F35等先进民用、军用飞机的制造,虚拟制造组织内部的各企业致力于各自的核心业务,实现优势互补以及资源优化动态组合与共享。

智能化制造模式的基础是智能制造系统,智能制造系统既是智能和技术的集成而形成的应用环境,也是智能制造模式的载体。以一种高度柔性集成的方式,借助计算机模拟的人类专家的智能活动,进行分析、判断、推理、构思和决策,同时完成信息和数据的收集、存储、处理、完善、共享、继承和发展,支撑庞大的制造工厂的智慧化运行。

航空制造技术发展趋势图如图1所示。

制定了相应的制造业发展计划,来支持其工业的进一步发展。

国际金融危机后,美国提出经济增长必须回归实体经济,因此,将“再工业化”作为重塑竞争优势的重要战略,使美国制造商致力于制造业里最高端、最高附加值的领域,全力强化技术优势。德国设计的“工业4.0”概念,提出了以智能制造为主导的第四次工业革命,认为智能工厂是构成未来工业体系的一个关键特征,这一战略将推动德国制造业的转型以及整个德国工业的持续发展。

我国也制定了《中国制造2025》发展规划,在重视转型升级之外,还有工业化、信息化“两化深度融合”,大力支持对国民经济、国防建设和人民生活休戚相关的数控机床与基础制造装备、航空装备、海洋工程装备与船舶、汽车、节能环保等战略必争产业优先发展。

近年来,在航空制造数控加工技

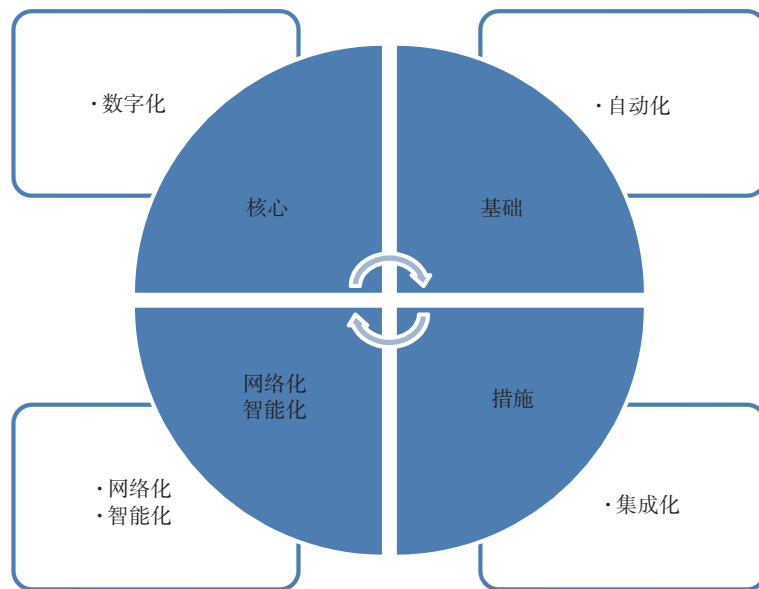


图1 航空制造技术发展趋势

行业现状

作为国民经济发展的支柱工业,航空制造业已经成为决定国家发展水平的最基本因素之一。以美国、德国为代表的世界领先工业国家纷纷

术领域,开展了有效的先进数控加工技术和数值模拟与仿真技术的研究与应用,能够实现对真实生产环境和生产过程几何特征的精确仿真。在航空难加工材料大型结构件的加工中,已经综合应用专用高速刀具、高

速切削技术、切削过程物理仿真优化技术、机床运行监测技术等,实现了飞机结构件加工过程的高速、高效、平稳和无人工干预。

在高端数控机床的智能化应用和维护领域,通过对数控系统二次开发、机床运动部件和结构部件传感器优化布置、机床运行专家知识库的构建,已经实现了数控机床自动化运行、状态实时监控、误差自动补偿、机床故障预警及状态维护等技术的工程化应用,显著提升了机床运行效率。

特别是在车间级数字化管控等方面取得了阶段性成果,建立了车间制造执行系统(Manufacturing Execution Systems, MES)、分布式数字控制系统(Distribution Numerical Control, DNC),并通过管理驾驶舱技术实现了对工厂运行状态的显性化实施监控,具备了良好的工厂数字化基础。

目前,所开展的数字化工作基本实现了数字化技术工作环节中的应用。但是,没有深入到系统内部去改变传统的设计、制造、试验和管理的模式、方法、手段、流程和生产组织,距离智慧化的现代数控加工工厂尚有很大距离。

发展思路

“智慧工厂”的提出、发展和实现,为传统的制造型厂商提出了新的发展方向。通过清楚掌握资源运转流程,提高生产过程的可控性,减少人工堆生产线运行的干预、及时准确地采集工厂运行数据,以及合理的生产编排等,达到提升航空制造企业核心竞争力及提高生产效率的目的。智慧工厂的实现,离不开技术创新的支持和信息技术的应用。

1 先进感测器广泛应用

先进传感器是使工业系统及装备具备智能化特征的基本构成要素。先进传感器的发展得益于微处理器

的进步和人工智慧技术的发展,包括运用神经网络、遗传算法、混沌控制等智能控制技术,能够使加工装备、控制系统具备数据收集、分析、状态感知、动作判断等智慧化的功能。而借助专家控制系统(Expert Control System, ECS)强大的专家知识库,对先进传感器获得的数字信号进行推理和判断,模拟人类专家的决策过程,解决那些需要人类专家才能解决好的复杂问题,实现工业装备运行的“智慧化”。

2 软件系统智能化

随着模块化、开放式软件平台的逐渐成熟,传统的依赖单一的计算机

(Production Planning Systems, PPS)的智能化,以及生产设备之间通信、数据交换程度的提高,生产设备不再是单一独立的个体,而是在统一的网络化的控制系统下运行的生产体系的终端,其生产状态将被网络化控制系统实时感知,使工厂内部所有装备形成有机整体。

智慧工厂需突破的关键技术

为迎接智慧工厂的挑战,需重点突破与飞机结构件数控加工密切相关的机床、工艺、物流、生产管控等关键技术,如图2所示。

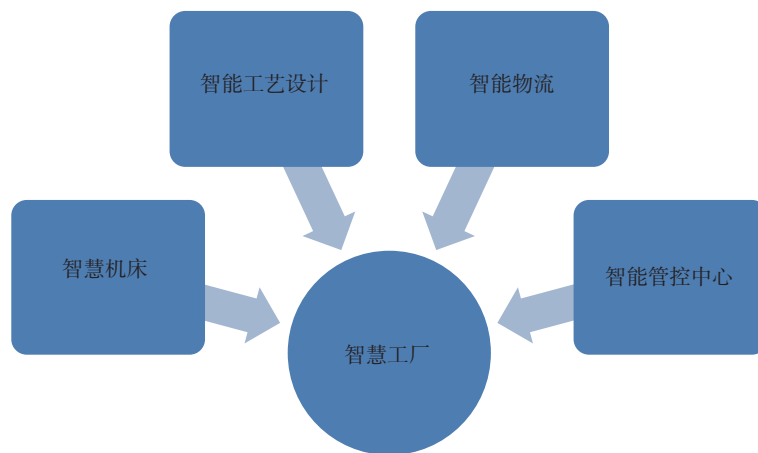


图2 智慧工厂建设的关键技术

辅助软件开展工艺设计的工作模式,将逐渐被基于知识的、高度集成的软件工程辅助系统所代替,即具备智能特征的软件系统。数字量表达、信息获取和处理知识的能力是智能软件与传统软件的主要区别之一,它能够通过这种能力,对在软件环境中运行的相应操作进行感知、学习、推理、判断并做出相应的反应,具备智能化的自组织性和自适应性。

3 控制系统网络化

在制造型工厂运行控制领域,数字化的应用和服务逐渐向云端运算模式转移,资料保存和运算位置的主要模式都已经改变。随着制造执行系统(MES)以及生产计划系统

1 智慧机床

数控机床可以看作未来智慧工厂的“肢体”,强有力的肢体是保证智慧工厂良好运行的关键要素和基本条件。

作为智慧工厂最基本的组成部分,数控机床的可靠性是其最主要的考核指标。同时,智慧工厂对机床的适应性也提出了更高的要求,比如能够通过自身分布配备的传感器收集机床和其他设备复杂的基础数据,实现对自身状态的实时感知,从而与远程诊断系统进行数据交流并开展分析,提供富有洞察力的、可指出原因的分析结论,使无故障平均时间最长且用于修理维护的周期最短。

在这个过程中,机床能够与人、管控系统进行实时的数据共享,及时与数控设备专家知识库进行“沟通”,通过数控系统控制模块对运动部件出现的不平衡及误差进行补偿;并对产品的在机加工状态进行实时监控,通过数控系统自适应模块优化切削过程,保证产品质量和加工安全性。

同时,智慧化数控系统的构架是开放式的,具有结构化的系统、子系统、功能模块,能够根据机床传感器采集数据分析、判断机床状态,并做出相应的“反应”。智能数控系统通过对影响加工精度和效率的物理量进行检测、特征提取、自动感知加工系统的内部状态及外部环境,快速做出实现最佳目标的智能决策,对主轴转速、进给速度、切削深度等工艺参数进行实时控制,使机床运行过程处于最佳状态。

2 智能工艺设计

智能工艺设计是智慧工厂的“神经系统”,是控制智慧工厂制造装备按指令进行生产的神经信号。

智能工艺设计不再局限于传统的工艺编程,而是以工艺知识及影响工艺设计因素为基础的全面的智能化工艺流程系统,容纳了零件设计、工艺决策、工艺编程、工艺实施、工艺优化等功能,从而实现整个工艺准备过程的无人工干预,及高效、高质量运行。

在数控程序编制阶段,基于飞机结构件快速编程系统的应用,增强零件特征识别模块、工艺设计及判断模块、程序优化模块功能,使编程系统能够根据零件几何特征,自动完成加工原点、工序/工步、刀具选择、参数优化等编程工作。同时,基于当前成熟的 VeriCut 几何仿真平台进行二次开发,融合切削力、切削温度、动态响应、机床加工精度、表面粗糙度等物理仿真模块,实现仿真过程参数的自动化设置,并全面评价加工过程中

可能出现的切削力/温度突变、切削颤振、加工误差、表面加工质量等问题,将可能出现问题的程序段反馈回

厂管控中心进行数据共享和实时互动,实现物流系统在智慧工厂内部的安全、高效、精确运转,如图3所示。

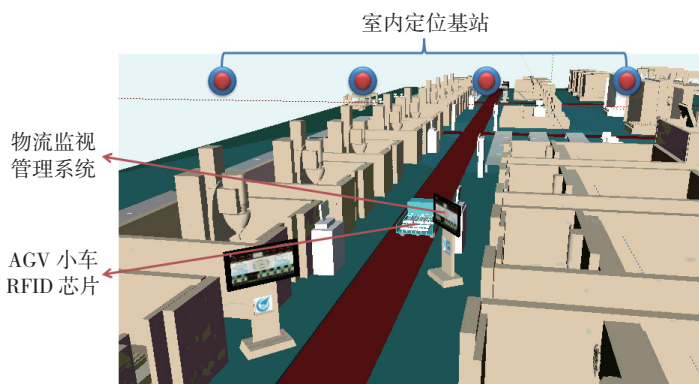


图3 智能物流管控系统

智能编程系统,对程序开展优化的同时,学习出现问题的程序段,以防止类似问题的再次发生。

在数控程序运行阶段,加工过程仿真系统与机床数控系统进行NC程序的“微提前量”同步运行。通过仿真系统对加工环境的精确仿真,实现虚拟环境下对真实生产过程的复现,仿真环境内部程序运行略提前于机床加工,实现对真实加工过程中可能出现质量隐患等问题的预判。

3 智能物流

智能物流作为智慧工厂的“循环系统”,需要将生产相关的资源不断送达工厂各部位。

典型智能物流系统的构建基础是物联网技术与物流系统的有效集成,同时物联网也是企业实现信息化建设的重要内容之一。建立智能物流系统的基础,是建立车间内部全面、准确、实时共享的基础信息数据库。这就需要物流系统具备对物流运行数据进行采集、跟踪和分析的能力,并建立相应的物流感知系统。目前,物流系统信息采集技术主要包含RFID射频识别技术和Savant(传感器数据处理中心)系统组成,RFID会将收集到的整个物流系统的实时运行数据及时传递到Savant系统,同时Savant系统会将收到的数据与工

4 智能管控中心

智能管控中心无疑是智慧工厂的“大脑”,工厂内部所有资源、数据的运行和使用均需要依赖智慧的大脑进行分析、判断、管理和控制。

智能管控中心构建的基础是制造执行系统(MES)、生产计划系统(PPS)、分布式数控(DNC)的建立,对工厂内部设备运行数据、生产资料状态数据、物流系统运转数据实时监控,结合虚拟现实技术,以显性化的模式在管控中心进行集成化显示。智能管控中心不是简单的数据堆砌,而是融合了生产基础数据库的智能化控制体系,对工厂内部系统运转过程中面临的生产资源调配、设备故障预警、设备运转效率、工厂经营指标等开展统计、分析、优化、决策。

结束语

智慧工厂是现代工厂信息化发展的新阶段,我国航空制造企业已经取得了长足的进步,但是,与德、美、日等制造强国相比,仍存在技术上的巨大差距。只有打牢信息化基础、依托先进制造装备、发展智能化软件系统,坚持基础技术与信息技术的有效融合,才能走出具有我国特色的飞机结构件数控加工智慧工厂之路。

(责编 叶枫)