

飞行器 制造技术

主编 张德欣
主审 齐 辉



哈尔滨工程大学出版社

飞行器制造技术

主 编 张德欣
副主编 张永顺 陈卫东 马庆滨
主 审 齐 辉

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

飞行器制造技术/张德欣主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2006
ISBN 7-81073-798-8

I. 飞… II. 张… III. 飞行器—制造 IV. V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 011878 号

内 容 简 介

本书介绍了飞行器制造技术的基本原理、方法。全书共 11 章, 内容涉及飞行器零部件的锻造、铸造、热处理、冷加工、焊接技术、特种加工技术、铝合金化学铣切加工、计算机辅助制造技术、表面处理工艺、几何量精密测量、理化试验与无损检测技术等方面。

本书内容丰富、结合实际、叙述简练, 可作为高等院校飞行器专业的课程和实习教材, 也可供从事飞行器研究、设计、制造及使用维护部门的科技人员阅读和参考。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市东大直街 124 号
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001
新华书店经销
哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本 787mm×960mm 1/16 印张 24.25 字数 517 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—1 000 册

定价:30.00 元

前 言

我国飞行器研制队伍已经建立 40 多年。工艺工作贯穿于飞行器研究、设计、试制、试验、定型、生产的整个过程,它是飞行器研制、生产的重要基础。先进的工艺技术和科学的工艺管理,是提高产品性能和保证产品质量的关键。

该教材在体系结构的设计上,以技术为基线,紧密结合航天工业实际,融合国内外技术于一体加以介绍,基本反映了航天制造技术的体系。在编排上注重知识深度和广度的结合,国内与国外信息的有机结合,详略得当。本书具有较强的系统性、实用性和新颖性,是高等院校的师生和研制部门的科技人员提高技术理论和实践能力的必读教材。

本书共分 11 章,第 1、2、7 章由哈尔滨工程大学航天工程系张德欣编写,第 3、6、10 章由大连理工大学教育部精密与特种加工重点实验室张永顺编写,第 8、9 章由哈尔滨工程大学航天工程系陈卫东编写;第 4、5、11 章由沈阳理工大学装备工程学院马庆滨编写,全书由张德欣任主编,张永顺、陈卫东、马庆滨任副主编。

在编写过程中,曾得到航天、航空工业部门有关厂、所和有关院校的帮助,哈尔滨工程大学航天工程系齐辉教授在百忙中审阅了全稿,并提出了许多宝贵意见。在编撰过程中,我们得到了各级领导、广大师生和科技人员的热情支持和多方面的有力帮助,谨在此致以衷心的感谢。

由于我们知识水平和实践经验有限,书中不足之处难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者
2006 年 2 月

目 录

1 概 论	1
1.1 工艺工作在飞行器工业企业中的地位	1
1.2 飞行器结构设计的基本要求及加工工艺特点	3
1.3 飞行器制造技术的型号产品特征性内涵	4
1.4 飞行器现代制造工艺技术简介	7
1.5 飞行器传统工艺的现代化改造技术	23
2 锻造与铸造工艺	24
2.1 自由锻造	24
2.2 胎模锻造	29
2.3 金属加热时产生的缺陷及防止方法	36
2.4 锻件常见的缺陷及其产生的原因	37
2.5 铸造铝合金的熔炼	38
2.6 铝合金的砂型铸造	52
2.7 铝合金低压铸造和差压铸造	66
2.8 铝合金铸件常见铸造缺陷及其预防措施	77
3 飞行器金属材料热处理工艺	87
3.1 黑色金属的热处理	87
3.2 有色金属的热处理	110
4 飞行器的冷加工工艺	127
4.1 机械加工工艺	127
4.2 钣金冲压件制造工艺	140
4.3 铆接和铆接结构装配	154
4.4 飞行器机械加工制造工艺的应用	166
4.5 飞行器机械制造的结构工艺性	175
5 焊接技术	177
5.1 焊接方法概述	177
5.2 电子束焊接	179
5.3 激光焊	188
5.4 扩散焊	193

5.5	摩擦焊	196
5.6	航天电子设备焊接技术	199
6	特种加工技术与工艺	202
6.1	概 述	202
6.2	电火花加工	204
6.3	电火花线切割加工	215
6.4	电解加工	224
6.5	高能束加工	230
6.6	新特种加工技术简介	238
7	铝合金化学铣切工艺	242
7.1	化学铣切工艺的特征	242
7.2	铝合金化铣加工工艺	244
7.3	化铣零件的材料及设计工艺性	247
7.4	化铣加工技术在飞航导弹制造中的应用实例	252
8	计算机辅助制造技术	255
8.1	概 述	255
8.2	数控加工技术	257
8.3	计算机集成制造技术基础知识	269
8.4	数控加工程序的编制	273
8.5	飞行器零部件的数控加工	275
8.6	用于飞行器零部件制造的分布式数控系统(DNC)	284
8.7	虚拟制造技术应用前景	285
9	飞行器表面处理工艺	287
9.1	电化学及化学镀覆工艺	287
9.2	电铸工艺	309
9.3	涂料涂覆工艺	315
10	飞行器几何量精密测量技术	326
10.1	概 述	326
10.2	形位误差的测量	330
10.3	大尺寸段的检测	340
10.4	常用精密测量仪器简介	346
10.5	几何量测量的新技术应用	348
11	理化试验与无损检测技术	352
11.1	理化测试	352

11.2 无损检测	355
11.3 失效分析	368
参考文献	380

1 概 论

微电子技术、计算机技术、自动化技术和现代制造技术的迅速发展,推动了飞行器加工工艺向高质量、柔性化和数字化生产的方向发展。所谓飞行器加工工艺就是通过改变原材料、毛坯或半成品的形状、尺寸、性质或表面状态,使之成为符合设计要求的飞行器产品的零部件的方法。飞行器加工工艺是飞行器研制、生产的重要基础,是国防实力水平的重要标志。飞行器加工工艺贯穿于飞行器的研究、设计、试制、定型、生产的整个过程。本书对飞行器一般传统加工工艺进行了介绍,同时也对在飞行器加工工艺中具有重要应用前景的现代先进制造技术进行了介绍。

1.1 工艺工作在飞行器工业企业中的地位

飞行器制造业肩负着保卫国家安全和提高国防综合实力的神圣使命,是衡量一个国家的综合实力和科技发展水平的重要标志,是高新技术武器装备发展和实现国防现代化的最重要的物质基础之一,同时也是国民经济发展中的重要力量,因此飞行器制造工艺得到了极大的重视。飞行器制造技术系统的能力、水平在很大程度上决定了航空、航天工程的发展和进步,从而对国家武器装备的水平和国防能力的提高起到了关键性的作用。目前飞行器装备的发展趋势是信息化、智能化、轻量化、小型化、精确化、一体化,因此对飞行器制造业的生产能力和技术水平提出了更高的要求。

先进、可靠的飞行器制造工艺不仅要保证飞行器飞行安全,较高的命中精度,同时也要保证企业有较高的生产率和较低的生产成本。飞行器工艺技术是现代飞行器制造企业的基础。企业的工艺素质包括工艺技术队伍的人员素质、工艺技术素质、工艺装备素质和工艺管理素质等。飞行器工艺工作的基本任务就是不断提高现代飞行器产品制造企业的工艺素质,采用技术先进、经济合理的工艺布局、工艺方法、工艺手段研制生产出符合设计要求的质量可靠的飞行器产品,缩短新产品研制周期并提高经济效益、社会效益与环境效益。

1.1.1 为武器系统的研制提供技术保证

飞行器制造工艺是飞行器产品(包括武器系统)从原理转化为真实产品的物质基础和技术手段。飞行器产品(包括各种类型的导弹武器系统、运载火箭和空间飞行器)与民用产品的主要区别是飞行器产品的技术综合程度深、先进性要求高、系统性强。它需要通过工程领域的设计、选材和制造这三个基本环节生产出来。由于飞行器产品的科学技术综合性,它所含的科技

门类十分广泛,同时它们相互之间还存在着大量的交叉、综合。因此其制造技术涉及的专业门类也很广泛,包括应用一些复合制造技术。由于飞行器产品的高性能和其功能的特殊性,使得其制造技术具有如下一系列的特点:

1. 针对特殊的结构,制造技术必须具有广泛内涵的技术能力;
2. 针对特殊的材料,制造技术必须具备众多的工艺门类;
3. 针对特殊的环境,制造技术必须保障十分可靠的质量;
4. 针对特殊的功能,制造技术必须涵盖更多的科技门类;
5. 针对特殊的指标,制造技术必须保障足够高的精度;
6. 针对产品的系统性,制造技术保证具备关键的工艺技术体系。

1.1.2 飞行器研制成果转化为武器装备的重要技术手段

飞行器制造工艺技术不仅要承担型号从设想到实物的转变,而且还要担负把研制的成果转变为武器,完成装备部队的任务。即在保证达到必要的战技指标的条件下,完成飞行器试制、试验,最终实现产品的批量化生产。对企业来说,研制成果要转化为武器装备,必须是物美价廉的产品,其生产过程应是:

1. 技术规范明确,生产工艺稳定;
2. 工艺过程科学、合理、经济;
3. 生产效率高,适应于批量生产;
4. 对使用部门来说,武器装备还应该满足使用方便、易于存储、便于维修和运输、性能稳定可靠一致、成本低廉等要求。

飞行器研制的周期长、造价高,要求制造企业具有很强的研究试验和技术攻关能力,可以研制出性能很高、技术先进的产品样机,通过试验、改进使之定型。由于飞行器造价高,在和平时期,生产、存储量不大,战争爆发时,飞行器消耗量很大,要求企业的生产线在保证生产质量的前提下,能够实现快速转换、扩充,这就要求制造技术具有很高的柔性,是开放式的制造系统。否则,即使有了先进的研制成果,也很难适应现代战争的需要。

1.1.3 确保飞行器武器系统的性能和质量

飞行器制造工艺技术的水平与飞行器产品的质量关系密切。产品质量的可靠性、稳定性在很大程度上由制造技术来保证,尤其是产品质量的稳定性,主要靠制造技术的稳定性来保证。产品的可靠性,首先是设计出来的,它由设计的结构原理、材料选择和元器件的选用及其功能的发挥方式来决定。但是制造技术在很大程度上影响着产品的可靠性。制造过程中工艺路线的科学性、合理性,工艺方法采取的正确与否等诸多因素都会影响产品质量的可靠性。大多数飞行器生产企业是试制与批量生产两种不同性质的生产相结合,研制与生产两个不同阶段的生产相结合,技术攻关与稳定生产相结合。在这种特殊的生产模式下,产品质量的可靠性

保证有其特有的技术的特点。因此企业在生产中积累大量的经验,形成自身行之有效的产品质量保障技术体系是保证飞行器产品性能和质量的前提。

1.1.4 制造水平是国防实力重要标志

在现代战争中,飞行器的重要性越来越突出。该产品的水平又受到制造技术的极大制约,从而制造技术的水平也就成了一个国家现代武器系统水平和国防实力的标志。制造技术在这方面表现为:

1. 能否造出高水平的武器系统,保证其高质量和稳定性;
2. 能否迅速地为部队快速提供数量足够的武器装备。

因此制造系统不仅要能制造,还更要能够快速制造。

现代飞行器制造技术高水平的评价标准不仅要看产品的复杂程度和精密程度,同时还要看劳动生产率,这才是高水平的制造技术评价标准。

1.2 飞行器结构设计的基本要求及加工工艺特点

1.2.1 飞行器结构设计的基本要求

飞行器设计是一门多专业、多学科的综合性应用科学,例如导弹武器系统是一项复杂的、要求一次性使用的、串联的系统工程。飞行器结构设计必须满足飞行器系统战术技术指标和总体性能指标的要求。

1. 基本要求

(1)必须保证飞行器具有精确的气动外形。就制造工艺来说,气动外形的精度主要包括各种复杂型面的制造精度和各种对接精度。它们对飞行器飞行速度的影响十分显著。带有冲压发动机的飞行器对气动外形特别是内外阻力优化的要求更加严格。此外,具有隐身突防能力的飞行器对此也有特殊要求。

(2)在确保导弹一次使用成功的前提下,要满足规定的强度和刚度要求,必须尽量简化导弹结构、减轻质量并降低制造成本。使其结构最简单,生命力最强,可靠性最高,制造成本最低。力求简化结构并注意改善其加工工艺性将有利于导弹的批量化生产。

(3)必须使飞行器能够适应所规定的严酷自然环境和力学环境,如高温、高湿度、盐雾、强烈的振动、冲击和过载等。尤其是在超低空和超声速飞行的条件下,振动和过载问题更不可轻视。

(4)必须使飞行器具备良好的可维修性,可以在规定的时间内,修理或更换失效的零部件,恢复其原有的性能。

(5)必须强化飞行器系统及各分系统的电磁兼容设计。总体和各分系统设计均应遵守电

磁兼容设计的通用原则和规范。

2. 采取的措施

为了达到上述要求,应采取如下措施:

(1) 飞行器的结构材料主要采用比强度和比刚度高的金属材料和非金属复合材料,部分采用钛合金和铝锂合金。其中,碳纤维环氧树脂复合材料的使用可使飞行器结构质量减轻 30%~40%。

(2) 在结构设计中,尽量考虑采用先进工艺技术以满足飞行器结构、材料及加工精度等方面要求。

(3) 由于飞行器正在朝小尺寸、大威力、超声速、超远程方向发展,因此应大力推广和应用整体结构、蜂窝夹层结构、强力旋压舱段(包括内外旋压)和高性能增强复合材料结构。其中包括铝合金铸造舱段、超塑成形弹翼壁板、复合材料整体成形弹翼壁板与舱段等。

(4) 大力推广应用计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)一体化技术,采用高精度的通用机床设备和测试(包括无损探伤)设备,以保证新一代武器系统制造精度和缩短研制周期。

1.2.2 飞行器加工工艺的特点

飞行器的加工工艺特点是由其结构设计基本要求以及为达到这些基本要求而采取的相应措施所决定的,特别是由飞行器及其各分系统结构复杂程度和采用先进工艺技术的程度所决定的。

飞行器加工工艺的主要特点如下。

1. 新工艺新技术应用比较多比较快,工艺预研必须走在飞行器预研的前面,以便为新型飞行器的诞生创造条件。

2. 所涉及的不少专业技术属于高技术范畴。例如超精加工、微细加工、特种材料加工、特种表面处理都是飞行器技术进一步发展的关键工艺技术。

3. 加工工艺的实践性强,其验证工作贯穿于飞行器研制全过程,特别是地面试验必须充分并尽量模拟真实情况。

4. 所加工产品零部件的质量控制十分严格。为此,必须实行全面、全过程、全员的质量管理,努力完善计量检测手段,重视加工过程中的技术协调工作。

1.3 飞行器制造技术的型号产品特征性内涵

1.3.1 弹头制造技术

头部结构是导弹战斗部的主体结构,它是把战斗部、弹头控制、导引等部件综合为一体的一个重要部件。在高技术条件下的现代化战争中,要用弹头实现对目标的有效毁伤。在弹头

小型化的同时,还要实现隐身、抗激光武器攻击,对于战略性导弹,还要承受再入大气层过程中的气动力、气动热、粒子云、等离子壳、核爆尘埃的恶劣环境。弹头在再入大气层时,为了提高其生存能力,还要实行弹道机动、多弹头分导等。因此,它又可以说是具备了一枚导弹的大部分功能。此时弹头作为飞行器的有效载荷,又应该有最小的质量,有最大的威力质量比,所以弹头制造有它的突出的特点。一般的弹头结构内部要安装众多的功能部件,所以是一个复杂的、精密的壳体 and 框架。它在结构上越来越复杂,对制造技术的要求也越来越高。它涉及的制造技术有:多种材料的结构制造技术和涂层技术(如高强高模轻质金属承力材料精密铸造、锻造)、整体数控加工成形技术、金属基复合材料精密成形技术、各种耐热复合材料(多向编织碳/碳端头帽、多功能多向编织碳/环氧端头体材料、法向增强碳/环氧耐热锥体材料、加钨丝的多向编织碳/碳端头帽)成形制造技术、高硅氧复合材料、陶瓷材料或陶瓷基复合材料头罩、耐高温光学头罩和多种涂层(雷达隐身与红外隐身涂层、抗激光涂层、抗核涂层)等的制造技术。

1.3.2 飞行器结构制造技术

飞行器的结构是系统的各个分系统部件的安装平台,既提供一个全系统的功能结构形状,又提供各个系统具有相互精确连接及位置。因此它们一般都是一些具有多结合面、多安装基准面的大型结构。其形状大部分为圆筒形、圆锥形或由杆系构成的轻型结构。例如液体推进剂储箱、多级火箭的箭体和级间段、导弹的弹体、火箭或导弹的整流罩等。其共同特点是大、薄、轻、精,并且具有复杂、多加工面。多用铝或铝-锂合金、铝-镁合金以及部分复合材料制造。为了减轻质量,筒形构件用钣金来制造并采用数控或化学铣切加工出块状的坑槽。为了准确地连接或安装其他部件,必须要加工出大量精密的基准面。为了增强刚度,这些结构内表面具有许多加强框和加强筋并开有大小不同形状的窗口。所以它们的制造技术主要是采用钣金成形技术、数控加工技术、连接技术(焊接、螺接及铆接等)和大型复合材料构件制造技术。这些连接技术不仅要处理许多平面问题,而且还要处理大量的空间曲线之间的对接、连接,这就提出了连接技术的自动化技术的应用问题。所以一些利用计算机控制的机器人焊接系统、自动化铆接机械等技术逐渐扩大了应用的范围。由于技术的进步,制造系统对制造的效率和效益的要求日益迫切,所以在一些大型的构件中,也开始应用铸造毛坯的技术。而卫星的大型复合材料承力筒、火箭的仪器舱、卫星支架及整流罩等都需要应用复合材料构件制造技术。

1.3.3 控制、导引、探测部件制造技术

控制、导引和探测系统部件在飞行器产品中有极其重要的作用。它们是实行精确打击、测量定位的基本功能部件,例如惯导设备、导引头、伺服控制驱动及高效率的物理量转换部件等设备,都是要求很高的精密部件。它们的加工精度高到亚微米甚至进入纳米量级,有的甚至很难有计量测试的仪器来对生产过程进行测量控制。有的部件结构还很特殊,具有薄壁、弹挠性结构;有的要求抗热力学环境及电磁环境,要求在存储条件下性能长期稳定,在强的辐射环境

中保持较强的生命力。这些特殊的要求使得其制造具有以下技术:

1. 能够对高速旋转的陀螺转子进行超精密加工和精密装配的技术;
2. 能够对具有精密垂直相交轴系的大小框架类零件进行数控加工的技术;
3. 能够对锥杆形、薄片、挠性梁等类弹性零件进行精密加工的复合加工技术;
4. 能够进行超精密的圆柱形、锥形、球形等构件和密封件加工的技术;
5. 能够进行各种方向和深浅的孔系加工的技术;
6. 加工超精密、轴对称、球或非球反射面的技术;
7. 对超精密特种液体或气体轴承进行超精加工的技术。

1.3.4 发动机制造技术

发动机是导弹、火箭和卫星的动力装置。按照其推进剂的类型,主要分为液体火箭发动机和固体火箭发动机两类。

液体火箭发动机是采用液体推进剂的发动机,其结构包括推力室、涡轮泵、自增压系统、燃气发生器、机架及各种阀门、导管等部件。推力室是一个薄壁、双层、异形的结构,高速旋转的涡轮泵也是一个具有复杂曲面的转子结构,它们都要承受高温高压的环境(温度高达数千开(尔文),压力达 20 MPa),所以采用强度高、塑性好、耐腐蚀的材料制造。其中喷头的精密小孔有斜向、切向,有的要求两斜孔的轴线相交于固定的距离,孔的锐边不能有毛刺;有的密封面要求的加工精度非常高,达亚微米级的精度。还有空间形状的导管系统,它们是薄壁的管系;还有各种阀门,都是精密构件。可以看出,这样一些构件的加工所需要的技术除了一般的基础工艺之外主要涉及钣金的旋压、超塑与爆炸成形;特种焊接(全位置气体保护焊、电子束焊、离子束焊等);以及精密数控加工和特种加工(电解加工、超声加工等)。此外复合材料的加工及成形技术和无损检测、精密轴系及其在高、低温下的润滑、涡轮转子的高速动平衡技术等,也是发动机制造技术的很重要的组成部分。

固体火箭发动机是采用固体推进剂的发动机。它与液体火箭发动机不同之处是采用的材料品种更加广泛,从超高强度钢、耐高温抗烧蚀材料到复合材料、绝热材料、密封材料、粘接材料等。从结构上看,固体火箭发动机是把推进剂的储存与燃烧结合在一起的,它的壳体既是推进剂的储箱又是发动机的燃烧室,这就使得固体发动机制造技术上有两个特点:

1. 高温的燃气通过喉衬扩散到喷管,所以喉衬是一个高温环境下工作的典型构件,必须用非常耐高温的材料来制造,从而形成了喉衬材料和结构的一系列制造技术,例如钨渗铜的金属基复合材料、多向编织的非金属碳/碳复合材料喉衬的制造技术。
2. 壳体内表面要有隔热、耐烧蚀的绝热层结构,这一绝热层的制造和粘贴要求很高,不允许有任何脱粘,由于绝热层的粘贴是在发动机壳体的内表面进行,又受到发动机尺寸的制约,它的粘贴和无损检测都有很大的难度。

除此之外,固体推进剂尤其高能固体推进剂的制造需要有防静电等极其安全的措施也是

固体发动机在制造上的一个很有特点的技术。

1.4 飞行器现代制造工艺技术简介

1.4.1 快速研制技术

飞行器产品的研制历来都是以长周期为特点的。但近年来国际事务争端与发展进程日益证明,未来的战争本身已经具有不对称性和突发性。在这种情况下,飞行器制造技术系统必须要具备的基本素质就是快速研制能力。它必须建立在快速研制技术的基础上。快速研制的内涵包括制造自动化技术、系统集成技术和先进生产模式三方面的内容。

1. 制造自动化技术

20 世纪五六十年代发展起来的 CAD/CAM 技术为产品的设计提供了有效的计算机辅助工具。至今这一技术在国内外都已经广泛应用,人们已经体会到 CAD/CAM、CAE 和 CAPP 等自动化技术在改变工作方式、工作环境和质量方面起到的巨大作用。

CAD 是计算机辅助设计技术。20 世纪 60 年代从美国兴起,从用计算机替代绘图板进行设计绘图开始,由计算机辅助二维绘图到三维实体造型,自动生成二维图,计算质量特性,进行虚拟装配、机构模拟仿真运动等,其内涵已经越来越大。

CAM 是计算机辅助制造技术。以 20 世纪 50 年代数控机床的出现为起点,加工能力从点位加工、2.5 轴加工直到实现 5 轴联动加工;编程能力从 APT 语言出现到基于 CAD 模型的数控编程技术;从专用后置处理到通用后置处理;从手工校对到加工仿真技术出现。目前在概念上已经逐渐涵盖 CAD/CAM/CAPP 集成等更广泛内容。

CAE 是指计算机工程分析技术。20 世纪 60 年代末期从美国兴起,以有限元技术为起点,运用计算机和有限元分析软件对设计的合理性进行分析计算,经历了从一般的强度设计到各种复杂分析和仿真的发展过程。

CAPP 是指计算机辅助工艺设计。它是指利用计算机完成如毛坯设计、加工方法的选择、工序设计、工装设计、工艺参数确定、工艺路线的制定以及工时定额、材料定额计算等工作。CAPP 产生的数据是企业实现科学管理和自动化生产的基本依据。

CAD、CAPP、CAM 是随着计算机辅助技术的发展分别独立发展起来的。它们各自独立成为系统技术。在几十年的发展中,出现了很多性能优良的软件系统,使得工程设计、加工制造的各个阶段的自动化水平大为提高。但是这些技术系统的发展,只针对其本身的专业需求而进行,着重于解决系统内部关心的问题,而对于系统之间的连接、转换则未能解决。因为这些系统产生的结果都是输出纸面文件(产品图纸和技术文档、工艺规程、程序清单、纸带等),无法自动转换为下一步骤的输入,还需要由人工来实现这些转换,使得制造过程的自动化受到局限,因此被称为自动化孤岛。自 20 世纪 80 年代起,人们开始研究 CAD/CAPP/CAM 之间数据和

信息的自动传递和转换问题(即集成),来使计算机自动化技术进一步发展。近几十年的研究发展,已经产生了许多成果,在世界各地创建了许多高效的计算机集成系统,使得制造技术发生了很大的变化。目前我国,这方面的研究仍然是先进制造技术发展的热门研究课题。

2. 系统集成技术

制造技术系统是一个包括从设计 - 加工 - 装配 - 试验这一全过程的各个阶段的技术的一个大系统。而广义的制造技术系统甚至包括从市场需求到产品销售以及售后服务的这样一个全过程的内容。其中,各个环节的计算机辅助技术都已经产生许多性能优良的成果,但是由于各个阶段的优化不是全局的优化,有时不能为其他阶段所接受,而系统集成的作用是将原来独立运行的多个单元系统组成又一个协同工作的、功能更强的新系统。它不是简单的自动连接,而是经过统一规划设计,分析原来单元的作用和相互关系,进行优化、重组而实现的,它使得产品的开发具有全局优化的可能。当前集成的范围已从车间集成(FMS)发展到企业的集成(CIMS),进而到社会(或企业间)的集成;集成的深度已从信息的集成、功能的集成发展到过程的集成;集成的内容已从单纯的技术集成发展到战略、组织、技术和行为的集成;集成的手段已从依赖接口、数据库发展到集成框架和网络、企业资源计划与产品数据管理系统的集成。

3. 先进生产模式

由于市场形势的发展加上科学技术提供的可能,工业发达国家在制造系统的理论研究方面也不断取得成果,相继提出了一系列制造系统的新概念、新模式。诸如计算机集成制造(CIM)、精益生产(LP)、敏捷制造(AM)、并行工程(CE)、智能制造系统(IMS)、全能制造系统(HMS)、绿色制造(GM)、经营程序再造(BRP)等先进制造生产模式,其本质就是集成经营。它是将企业经营所涉及的各种资源、过程与组织进行一体化的并行处理,使企业具有了精细、敏捷、优质与高效的特征。

飞行器工业面对多品种小批量的快速研制要求,单元系统的计算机辅助技术的应用,还不能有效地快速响应。制造业的全球化,使发展中国家面对严峻的挑战。中国企业管理的现代化是一个比纯技术与装备更新更加迫切的问题。必须解决组织的创新、集成经营、新的质量观(全面质量满意、适度质量、质量的时间性)、重组工程、以人为本、以分工协作代替全能、用并行交叉作业代替串行作业等。故此可以把当今世界各国的企业正在经历的变革描述为以知识为基础的三大变革:

(1)增强协作是当代企业活动中最重要的发展趋势,它使知识和构想得到更大范围的交换和共享,从而提高企业的活动效率。

(2)分散经营是把企业分散成能够各自对经营结果负责的自我管理单位,对环境变化具有较强的适应能力。能够共同组成一个效率高的整体。

(3)建设智能基础设施。利用它来为企业系统服务,使企业系统能够进行有效的交流和工作。未来的制造业在某种意义上将成为一种信息产业,用信息技术促进制造业的改造已经成为时代的潮流。

1.4.2 精密和超精密加工技术

由于飞行器产品(导弹、火箭以及各种空间飞行器)的精度越来越高,例如一枚洲际弹道导弹飞越上万千米要命中目标而其偏差只有几百米甚至几十米,那自然,其加工精度当然就很高。精密和超精密加工的概念是随着技术的成熟程度而不断发展的,相对于不同的时期,由于技术的发展处于不同的阶段,加工所能够获得的精度是不同的。虽然各种加工方法都有加工精度问题,并且也都有精度高低,但是并不是任何相对较高的加工精度就叫精密加工。迄今为止,精密和超精密加工已经成为一个具有比较确定内涵的技术领域。目前,精密、超精密加工技术是指加工精度进入微米或微米以内甚至纳米级的加工技术。它包括加工的工艺、设备、工具环境及计量手段,是飞行器产品制造技术中的一种重要工艺技术,是保证导弹、火箭和卫星控制系统中高精度惯性器件(陀螺仪、加速度计、动压马达、气浮轴承)、伺服机构、导引头部件制造质量的关键制造技术。精密加工发展到超精密加工的阶段始于20世纪60年代,几十年来发展十分迅速,从机床、刀具、工艺、计量手段到环境的控制已经产生了配套完整的高水平技术系统。当前,纳米级精度的超精密机床以及计量工具和仪器已经商品化,加工的工艺已经能够达到皮米($1\text{ pm} = 10^{-12}\text{ m}$)级的水平。飞行器工业是精密和超精密加工技术最主要的应用领域。飞行器制造的一些企业在国内最早开始应用金刚石切削加工技术;最早开始研制并应用误差补偿的理论和实现用普通机床进行超精密加工;研制了回转精度达 $0.03 \sim 0.05\text{ }\mu\text{m}$ 的气浮主轴和导轨的超精密机床;刃口刃磨精度达 $0.025\text{ }\mu\text{m}$ 的超精密金刚石刀具及其刃磨装置;亚微米的在线、在位测量装置均已研制成功并投入使用。铝合金金刚石镜面切削的表面精度已达 $0.05 \sim 0.03\text{ }\mu\text{m}$,精密研磨的表面粗糙度达 $0.01 \sim 0.02\text{ }\mu\text{m}$ 。可以加工厚度仅为 $20 \sim 40\text{ }\mu\text{m}$ 的挠性梁的弹、挠性零件。对于硬、脆材料而言,近年来发展了所谓塑性域加工的理论和方法。它是采用极细微的金刚石粉砂轮在纳米级的切深下的切削加工,可达镜面级的表面粗糙度水平。随着飞行器产品研制的发展,超精密加工技术还在向纳米级加工的方向前进。事实上激光陀螺仪中的反射镜就要求到亚纳米级的表面粗糙度,微型器件和微小型机械的发展也要求超精密加工技术向纳米级精度迈进。扫描隧道显微镜、原子力显微镜技术、塑性域加工技术、离子加工技术等已经把加工的切除量减小到了纳米量级,甚至进行按原子的大小逐层切除材料。

1.4.3 表面工程技术

表面工程技术是对材料经表面预处理后,通过表面改性、表面镀膜、涂敷或多种表面技术复合处理,改变固体金属或非金属材料表面的形态、化学成分、组织结构或应力状态,以获得所需要的材料表面性能的一门系统工程。它是在表面物理和表面化学基础上融合了现代材料科学、现代工程物理和制造技术而发展起来的综合技术。表面工程的主要作用是通过以少量的改性层、膜层或涂层材料获得基材不具备而又希望具有的性能与功能,因而表面工程技术在有

效延长零部件的使用寿命、提高生产效率、降低材料与能源消耗,降低生产成本等方面具有很大的应用和增值潜力。其最大的优势是能够在不改变材料整体形状的条件下,以多种方法制备出优于本体材料性能的表面功能薄层,赋予零件耐高温、防腐蚀、耐磨损、抗疲劳、防辐射等特殊性能,而且改性层与制作部件的整体材料相比,厚度薄、体积小,但却承担着工作部件的主要功能。表面工程是近代武器装备发展的支撑技术,也是新武器研制的基础和保证技术,在飞行器制造中有特殊的意义,应用十分广泛。它主要包括表面改性、薄膜技术和涂层技术三个方面。

1. 表面改性

表面改性是借助电化学、激光或离子方法对工件表面进行快速或超快速、浅表面层的加热、冷却、氧化,能获得常规方法难以实现的表面处理条件,由此达到表面钝化、合金化、微晶化、非晶化等表面微形貌制作以及复杂结构膜系的制备的目的,对飞行器的精密摩擦件、电接触表面以及其他精密小型工件的表面处理具有很高的实用价值。利用离子注入工艺对材料表面进行改性,可以提高飞行器用陀螺、活动部件、轴承材料的抗磨性能,降低摩擦系数,提高惯性仪表的精度,使武器装备的战斗性能显著提高。

2. 薄膜技术

薄膜技术是利用物理或化学的方法在工件或材料的表面沉积具有特殊性能的膜层。卫星、飞船等飞行器在空间特殊环境下要解决其温控、防静电、抗辐照、防原子氧侵蚀和防冷焊等问题,需要研制高性能的热控薄膜、柔性防静电薄膜、解决复合材料的表面金属化,以及固体润滑和防锈的膜层。利用薄膜技术制备红外焦平面阵列是制造红外探测器的主要工艺技术。在导弹的窗口制备金刚石薄膜可有效地散发热量,保护它不因高速飞行时导致的可达 5 000 K 的高温而致盲。

3. 涂层技术

涂层技术是历史最悠久的表面处理方法,施镀简单、生产效率高,在飞行器工程中应用广泛。例如返回式航天器的碳/碳复合材料防烧蚀涂层,战术武器关键部件的耐高温、防氧化涂层以及导弹武器突防用的新型纳米吸波涂层等。

采用表面工程技术的费用虽然只占产品价格的 5% ~ 10%,但却可以大幅度提高产品的性能和附加值,其平均效益可提高 5 ~ 20 倍以上。

1.4.4 固体发动机装药技术

固体发动机装药是固体发动机研制生产的关键制造技术之一。它主要由原材料准备,发动机壳体准备,推进剂制造及发动机总装药检测和主要推进剂、防护层、原材料性能分析等工艺组成。

1. 原材料准备就是对推进剂进行粉碎、过筛、烘干、组批、称量、混合。这些过程都具有危险性,其生产安全是这一工艺技术很重要的方面。