

现代飞机关键制造技术浅析

Brief Analysis on Key Manufacturing Technologies of Modern Aircraft

空军工程大学 李艳华

西京学院 蔺国民



李艳华

空军工程大学副教授,工学硕士,从事军用飞机结构、制造领域的研究工作。

现代飞机所面临的飞行环境和飞行任务,对飞机性能的要求大大提高,迫使飞机制造技术,特别是关键制造技术必须要有新的突破。本文立足国内外飞机制造技术现状,对现代飞机的六大关键制造技术进行分析和描述,对我国飞机关键制造技术的发展目标及机体制造提出建议,对现代飞机制造技术发展的趋势予以展望。

现代飞机关键制造技术

1 飞机全数字化设计与制造技术

(1) 三维数字化设计技术。飞机

全面突破轻量化与整体化结构、隐身与智能结构、新型冷却结构、新型材料构件制造技术;为在研型号与新型飞机的研制与生产提供实用的制造技术;大力推进计算机数控加工技术和生产过程计算机管理与控制技术的普及应用;结合国情,借鉴外国经验,加速柔性集成化制造技术、并行工程、工业工程、现代管理模式和先进管理技术的推广应用,以提高综合技术水平、整体效能和应变能力。

产品工程设计,从销售和市场获取的用户需求开始,飞机总体设计组经过对飞机的航程、所需燃油、载重、总体性能以及制造成本等分析后,将得出的数据作为进行初步产品数字建模的依据。

(2) 应用数字化预装配技术(DPA)。该技术是指在计算机上进行零件造型和装配,使零件在加工前就进行配合检查。它的成功依赖于零件设备的彼此共享,作用是降低因工程错误和返工带来的设计更改成本。

(3) 应用设计制造的并行工程技术。该技术包括产品各部分的同时设计和综合,以及有关工程、制造和支持相关性协调的处理。该技术的应用会使开发人员从一开始就能考虑到产品生命周期内的所有环节,包括从项目规划到产品交付的有关质量、成本、周期和用户要求等。

(4) 全面产品数据管理(PDM)技术。产品数据管理是管理、存取和控制与企业产品所有相关数据的系统,其中包括产品寿命期的所有数据。产品数据管理面向目标的数据库,还可管理产品开发过程,如工程图纸信息、设计审批过程、产品零部件结构和材料标准等。

(5) 统一产品数据表达和交换技术。建立全数字化模型后会出现各类软件和系统,而这些软件开发时没有统一的规划和总体设计,难以集成和信息交换,因此,要在初期对产品数据表达和交换技术进行统一。

(6) 全数字化环境和协同工作技术。每个飞机制造公司都有自己的成套计算机系统:由软件和硬件组成的功能模块、制造装配工艺系统、进度计划系统、订单系统、库存管理、零件短缺处理和跟踪系统等。只有对产品进行全数字化定义后,这些内

容和结构各不相同的子系统才有可能集成在一起,组成一个庞大和统一的计算机系统。该系统的数据来源于由设计、制造、材料、财务和有关人员一起共同开发的产品结构数据、制造工程数据、工装工程数据、财务和其他计划表等。这些数据进一步生成详细的零部件结构、制造方法、工艺规范以及有关材料参考等多项信息,最终形成飞机全数字化设计与制造集成系统。

2 高能束加工技术

随着飞机结构和材料的不断变化,传统的加工技术已不能满足关键零部件的加工要求,高能束加工技术应运而生。在飞机机体上应用的高能束加工技术主要包括激光加工和电子束加工。

(1) 激光加工。

激光加工适用于批量小但变化大的零件加工和薄壁零件切割以及二维板料、三维管子的切割。激光成形技术可直接成形三维复杂的零件,在此过程中,大功率激光器和多坐标定位系统把金属粉末颗粒融合在一起,直接从CAD文件形成零件。例如,激光加工技术应用于钛合金成形,可生产几何形状的近无余量成形零件,不需要精加工和热处理。先进飞机整体的增强肋形零件尺寸大、壁薄且形状复杂,采用激光加工技术,可以取消铸造过程,直接将金属粉末制成零件,大大节约了材料和时间。同时,激光成形过程由软件控制,增加了设计柔性。

(2) 电子束加工。

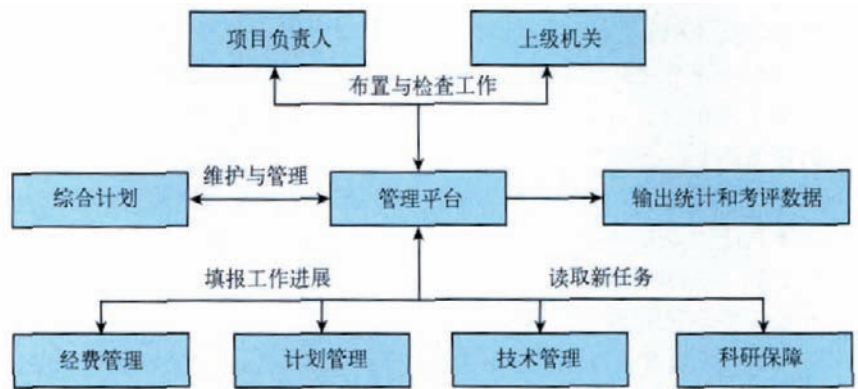
在现代飞机制造中,焊接工艺的地位举足轻重。焊接时,由计算机控制电子束的角度、速度以及焊枪与工件之间的距离。对较厚的坯料,电子束焊接是确保焊接接头冶金质量、接头性能和几何形状及尺寸精度的最佳焊接方案。钛合金的计算机控制电子束焊接标志着飞机制造新技术时代的到来。电子束加工技术的发

展方向是高能量可控电子束技术。通过在F-22和苏-27上使用该技术,其对工艺偏差的控制能力、无损检测方法以及技术过程的可行性均十分令人满意:既减轻了结构重量,又解决了钻孔引起的耐久性问题。

3 精密钣金成形技术

钣金成形技术,即金属板材和管材的成形技术。高性能军用飞机气动外形日趋复杂,采用了带弯扭折变厚度机翼整体壁板、镜面蒙皮等新型

材料为主的先进复合材料已成为现代飞机和发动机轻量化结构的重要结构材料,其占飞机结构重量的比重不断增加:民用飞机已达到10%~20%,军用飞机为26%~60%,直升机达到50%。先进复合材料的应用已从次承力构件向主承力构件扩展,从结构型向功能型扩展。抗损伤结构的开发集中在普通的环氧树脂复合材料上,主要采用2种工艺:一是软化蒙皮工艺,即把支承载荷的主要



数字化管理平台逻辑框图

结构。在现代飞机制造中,特别需要发展的成形工艺是时效成形,在时效变形过程中会发生应力释放,将弹性应变转化为维持轮廓形状的形变,该工艺可用于热处理铝合金的整体加强筋和形状复杂的零件以及蒙皮成形,如B-1B外翼上下蒙皮壁板、空客A330、A340的上蒙皮壁板和A321下翼面蒙皮。精密钣金成形技术的核心是简化设计、提高质量、缩短周期、降低成本。充分利用材料的最佳成形性能,发掘新的成形工艺与方法,预测成形缺陷、检测和控制成形过程是成形技术的发展趋势。

4 复合材料构件成形技术

先进复合材料具有高比强度、高比刚性、低密度、耐腐蚀、可剪裁等特点,其优良的设计性为制造出大型复杂的整体结构提供了保证。复合材料良好的抗蚀性和便于隐形以及利于实现智能化,在现代飞机制造中具有显著的减重效果。以树脂基复合

纤维从蒙皮表面移到加强筋上或下蒙皮的后面,这些纤维通过预处理保持直线型以防止出现层间裂纹,这种工艺已应用于V-22倾转翼飞机上;二是厚度方向止裂工艺,即把很细的针状纤维按照要求的间距垂直排列在一块损耗的泡沫板上,该板在固化前放在未固化的预浸层上真空袋下,随着加热加压固化,泡沫层逐渐压扁,随即使用超声锤把针状纤维压入结构件中,节省了使用紧固件并降低了因紧固件的使用所引起的冲击破坏。复合材料的固化方法除传统的热压罐、热压固化外,微波固化、电子束固化等方法也已开始应用,洛克希德·马丁已采用电子束固化方法制造机翼壁板。

目前,低成本复合材料技术朝3个方向发展:一是开发低成本制造技术,例如树脂转移成形、树脂膜溶渍工艺、纤维束自动铺放工艺和新的固化方法;二是研究低价原材料;三

是发展新型设计概念。

5 先进装配与连接技术

在飞机制造中,装配连接质量直接影响飞机结构的抗疲劳性能和可靠性,高性能飞机连接结构必须采用先进的连接技术。

(1) 自动钻铆技术。

自动铆接技术在国外现役军机、民机的自动钻铆系数已分别达到17%和75%以上,大量采用了无头铆钉干涉配合技术,新型固件有无头和冠头铆钉、钛环槽钉、高锁螺栓、锥形螺栓以及各种单面抽钉等,80%铆接和100%的不可卸传剪螺栓连接均采用干涉配合。自动钻铆技术已在国外飞机上广泛应用,如波音民机的壁板机铆系统已达60%~75%,麦道军机上自动钻铆技术的应用也达到了17.5%,目前需要解决的主要问题是工件定位和校平。铆接技术正向机器人和包含机器人视觉系统、大型龙门式机器人、专用柔性工艺装备、全自动钻铆机以及坐标测量机组成的柔性自动化装配系统发展。如Boeing-767、Boeing-777采用了翼梁自动装配系统,效率提高14倍,费用降低了90%,废品率降低了50%。

(2) 电磁铆接技术。

电磁铆接具有加载速率高、铆接时铆钉材料各方向流动均匀且同步,可以实现理想的干涉配合连接等优点,主要应用于钛合金、复合材料及厚夹层的铆接,和压铆有所不同。目前,电磁铆接技术由高压型向低压型发展,如美国Electroimpact公司生产的E4000机翼机是一台低压型立式铆接/栓接机,其最大的优点是能在一个地方完成所有的机翼装配工作,取消了全部的手工操作,避免了因高压对人员造成的伤害。

(3) 复合材料连接技术。

复合材料的连接一般采用胶接和共固化方法。由于复合材料层压板层之间强度低,抗冲击能力差等原因,采用干涉配合连接技术比较有利于提高接头强度。干涉量过大会造成复合材料损伤,干涉量过小则会造成间隙配合,因此,确定比较理想的干涉量就成为复合材料连接的关键。采用电磁铆接技术,可获得理想的干涉量。

对不同的材料钻孔,需要选用钻头的形状、材质以及钻孔速度也不同。当将复合材料与金属材料连接时,传统的做法是分别在复合材料和金属材料上钻孔,然后将2种材料的

零件连接起来;而波音公司开发的新技术,用一种新型钻头和一道工序就能实现复合材料与金属材料之间的连接,具体方法是:采用数据采集系统,通过测力计测量出钻头轴向所需的推力,适时控制钻孔给进速度,以获得高的钻削效率、最小的钻头磨损,从而满足公差配合要求。

(4) 胶接技术。

胶接结构被广泛地应用于飞机结构特别是次承力结构,如蜂窝夹层结构的夹心与蒙皮的胶接以及桁条、肋和加强件与蒙皮之间的胶接。金属胶接具有良好的密封性、抗振性和声疲劳特性。目前正在开发铝锂合金板、钛合金层间由SiC纤维增强的复合层板和高温胶接剂,并研究特种功能的蜂窝胶接技术。

6 多功能结构制造技术

多功能结构制造技术是一种新型制造和集成技术,它利用传感器进行载荷或故障的探测或评估并与周围的电磁环境相互作用。该技术将信息与电子设备集成到适当的承载结构中,依靠先进大规模集成电子单元、轻重量的复合材料结构和高传导性材料,使结构的重量大大减轻、体积成倍缩小,极大地减少了成本。在多功能结构中,微电机设备、微型传感器和作动器与传递动力和数据相关的电缆一起被埋设在结构中,这种有效的集成摒弃了传统的插线板、接线盒、大型连接件、大批量电缆和高温底板。目前,多功能结构研究主要集中在飞机/机体共形、集成和维修方面。

智能结构是多功能结构中的一种,它通过感应外部刺激形成感应信息并以主动控制形式回应。一般的智能结构材料有形状记忆合金、压电伸缩陶瓷、电致伸缩陶瓷、微机电设备、磁致伸缩材料、电磁流变材料以及合成橡胶等。

隐身结构也是一种多功能结构,主要包括:纤维增强吸波复合材料



层板、复合材料夹层结构、其他隐身复合材料结构。另外,在制造中采取精密加工,可以削弱飞机机体边缘、孔、腔、角等区域产生的辐射,起到隐身作用。

我国飞机关键制造技术发展目标

现代飞机制造技术发展的目标是:全面突破轻量化与整体化结构、隐身与智能结构、新型冷却结构、新型材料构件制造技术;为在研型号与新型飞机的研制与生产提供实用的制造技术;大力推进计算机数控加工技术和生产过程计算机管理与控制技术的普及应用;结合国情,借鉴外国经验,加速柔性集成化制造技术、并行工程、工业工程、现代管理模式和先进管理技术的应用,提高综合技术水平、整体效能和应变能力。

1 亟待重点突破的关键制造技术

借鉴国外先进制造技术,结合国内发展情况,进一步深化单项技术研究,同时将现代化的制造工程管理模式全面推广应用。主要从以下几方面着手:

(1) 完成计算机集成制造、精益生产、敏捷制造等现代制造管理新思想、新理论、新模式的开发和应用研究,实现产品信息和企业管理信息的全面集成;

(2) 完善高能束流和电加工技术,实现计算机数控化、综合化、精细化和大型化,为新一代飞机、发动机和机载设备的新材料、新结构加工提供适当的关键制造技术;

(3) 加速精密钣金成形柔性生产单元的研制,建立以成组技术为基础的钣金柔性生产单元,建立钣金成形工艺过程模拟专家系统,以适应实施并行工程的需要;

(4) 完善聚脂基复合材料隐身结构、复合材料智能结构件制造技术和无损检测技术,进一步探索低成本制造技术;

(5) 探索新材料和新的连接技术,为新型飞机提供适用的先进连接与装配技术;

(6) 加强智能蒙皮制造技术,智能结构、可变弯度机翼制造技术,新型含氟蒙皮涂层、隐身涂层和镀层、新型高透波率抗静电和防雨蚀涂层技术的研究。

2 对飞机机体制造技术发展的建议

我国军机应从论证、研制、生产到使用、维修直至退役等阶段入手,



进行全系统综合管理,建议飞机制造技术的发展从以下几方面入手:

(1) 加强预先研究工作,紧紧围绕背景型号和在研型号需求,兼顾在役型号改造的需求开展研究,把研究与应用真正结合起来;

(2) 在应用先进技术时,综合考虑性能、价格、可生产性及该项技术与其他技术的兼容性;

(3) 加强先进制造技术综合应用研究,强调先进性和配套性并行发展的策略,着力发展原材料制取、加工成形、设备、检测、修补等配套技术;

(4) 加强制造技术生产模式的研究,以提高产品整体经济效益。

3 现代飞机制造技术发展趋势

现代飞机制造技术将向设计与

制造集成化、高速快捷化、精密复杂化、整体轻量化、高可靠性、易维修性、高度自动化和高质量低成本化发展。

(1) 向集成技术方向发展。表现在采用精益生产、数字化预装技术、并行工程等综合性强的、与管理相结合的技术;

(2) 数字加工向高性能方向发展。表现在加工精度高、结构复杂的计算机控制技术以及难加工材料问

题的解决上;

(3) 复合材料的应用范围不断扩大。表现在从次承力件应用向主承力件发展;向高温性能和隐身性能需要的发展上;

(4) 成形技术向无余量成形技术方向发展。主要表现在应用超塑成形/扩散连接、精密锻造、精密铸造等技术;

(5) 装配连接技术向高度自动化方向发展。表现在使用机器人化装配单元、采用数字化预装配、在部件对接上使用计算机辅助光学经纬仪系统等技术;

(6) 开发特种结构工艺技术。表现在隐身结构、智能结构研究的开发。(责编 淡蓝)