

飞机大型蒙皮和壁板制造技术 现状综述

Current Status of Large Aircraft Skin and Panel Manufacturing Technologies

沈阳航空工业学院宇航学院 韩志仁 戴良景 张凌云



韩志仁

教授,博士,研究方向为钣金塑性成形及飞机先进制造技术。

大型蒙皮和整体壁板在强度、波纹度等方面均优于小蒙皮的拼接结构。在大型飞机设计中普遍采用大型蒙皮和大型整体壁板,大型蒙皮具有尺寸大、曲率小、长宽比大的特点。例如空客 A380 翼面蒙皮长 33m、宽 2.5m,厚 3~28mm,大型复合材料蒙皮的使用改变了大型蒙皮和整体壁板的制造思路。由于大型蒙皮和整体壁板的成形受设备尺寸的限制,滚弯、闸压、拉形等成形方法已经不

能满足要求,空客、波音等大飞机制造公司主要采用喷丸成形和蠕变时效成形方法。下面主要就这些方法的现状、特点、关键技术等进行介绍。

能满足要求,空客、波音等大飞机制造公司主要采用喷丸成形和蠕变时效成形方法。下面主要就这些方法的现状、特点、关键技术等进行介绍。

蒙皮拉形

蒙皮拉形是一种传统的蒙皮成形方法,在飞机制造中应用广泛,特别是对于战斗机的蒙皮成形应用较广。对于大型薄蒙皮而言,拉形方法仍然是主要成形方法之一。美国 Cyril Bath 公司宣称其拉形机的吨位可以最大到 3000t,以满足大型蒙皮拉形需要。我国于 1994 年由美国 Cyril Bath 公司引进的 vt1-1000 蒙皮拉形机,主要用于双曲度钣金件的拉伸成形,由微机进行 CNC 控制,可自动加工零件。加工零件最大范围为最长 12m,最宽 4m,最厚铝 10mm,不锈钢 4mm,钛合金 3mm。最大成形吨位 1000t。

随着飞机设计理念的改变和技术的发展,飞机大量采用整体蒙皮壁板,并开始使用复合材料蒙皮和壁板,可采用拉形的蒙皮类零件逐年减少。另外,蒙皮拉形零件常常会出现滑移线、粗晶、纵向鼓包等缺陷,其成形工艺还需要做进一步研究。

喷丸成形

喷丸成形由美国 Lockheed 航空公司的工程师 Jim Boerger 在 20 世纪 40 年代首先提出^[1-2]。已成功应用于军用飞机及 A310—A340、波音 707—777、MD11、MD80、MD90、MD95、DC10、ATR72 等民用飞机的整体壁板零件制造中。随着技术的发展,出现了预应力喷丸成形技术、数字化喷丸成形技术、双面喷丸成形技术、激光喷丸成形技术、超声喷丸成形技术、高压水喷丸成形技术等。喷丸成形技术是飞机大型

蒙皮和壁板成形的关键技术之一。

1 喷丸成形技术特点

喷丸成形技术的优点主要有:

(1) 工艺装备简单。不需要成形模具,零件制造成本低,对零件尺寸大小的适应性强。

(2) 改善零件的抗疲劳性能。

(3) 既可以成形单曲率零件,也可以成形复杂双曲率零件。

对大型蒙皮喷丸和壁板成形的应用主要存在两方面的困难:一是设备问题,二是工艺问题。为了适应大型蒙皮和壁板成形的需要,国外积极开发大型喷丸设备。例如 KSA 和 baiker 为空客 A318 和 A380 联合研制的喷丸设备^[3]。我国航空企业从法国、美国引进一些数控喷丸设备,在战斗机蒙皮成形中发挥了很大作用。

喷丸成形虽然得到了很好的应用,但很大程度上依赖于技术人员的经验和工艺试验确定工艺参数。将现有的经验应用于大型蒙皮和壁板成形会少走很多弯路,同时也可能遇到很多新的问题,大型蒙皮和壁板喷丸成形工艺研究非常必要。

2 大型蒙皮和壁板喷丸成形技术发展趋势

(1) 喷丸技术数字化。在国外,飞机的数字化设计和数字化制造已经得到了很好的应用,如美国洛克希德公司对一些机型的研制生产中已经完全采用了数字化设计和数字化制造技术。国内航空企业也在推广数字化设计和制造技术。在数字化制造中,喷丸技术的数字化主要体现在工艺参数数字化和喷丸过程数字化控制 2 个方面。工艺参数数字化基于工艺数据库、数字化测量技术、虚拟可视化技术和 CAE 技术,建立一套喷丸工艺参数快速确定系统,不仅可以预测和控制成形参数,而且可预测和控制喷丸强化与抛光工序对蒙皮的影响。喷丸过程数字化控制体现在设备上,国外数控喷丸设备有 10 轴、9 轴、6 轴、5 轴等多种数控系统^[4]。

(2) 自动化程度高^[2-3]。自动化喷丸成形技术的优点非常明显,用户不需进行任何编程和测试工作,操作者只需按动开始按钮,设备就自动完成零件程序预先设定好的工作。自动化喷丸成形技术使产品质量稳定,减小了人为因素的影响。

(3) 设备大型化。为了满足大型蒙皮和壁板的喷丸成形需求,开发大型精密喷丸设备非常必要。

(4) 成形精密化。通过提高喷丸设备的自动化程度和工艺参数的精确预测,提高喷丸成形件的精度,不需要后续的校形。

蠕变时效成形

20 世纪 80 年代,在 B1 - B 远程轰炸机上,机翼蒙皮使用了蠕变时效成形技术^[5]。90 年代初,时效工艺开始应用于 Gulfstream、Airbus A330/A340 的上翼面制造中。最近,公司又将蠕变时效成形工艺应用于 Airbus A380 的突变铝合金机翼蒙皮制造中^[6]。欧盟在“FP5”计划(the Fifth Framework Programme)中专门设立了“时效成形”的跨国联合研究项目^[5],拟开发可时效成形铝合金并进行应用研究。波音和空客等大型飞机制造商不仅在大型蒙皮和壁板成形设备上具有优势,而且蠕变时效工艺方面已经成功地应用于大型蒙皮和壁板的成形。

1 蠕变时效成形特点

蠕变时效成形是在一定温度和外力的作用下材料缓慢变形的过程,其中伴随着蠕变、应力松弛、时效综合作用。

蠕变时效成形具有成形精度高、重复性好、工艺稳定等优点,能够提高蒙皮的强度,生产双曲率复杂形状的厚蒙皮和整体壁板件等大型钣金件。蠕变时效成形在一次成形中就可以得到非常接近要求的形状。虽然蠕变时效成形设备和模具制造成本高,但对于特大型蒙皮和壁板的成

形非常有效,是其他方法所不可替代的。蠕变时效主要涉及两个方面的关键问题:一是需要大型的装置,空客公司自行研制的世界上最大的热压罐^[6],其中压力 300t、罐长 42m、直径 6m。二是需要成熟的工艺,蠕变时效成形中的关键技术包括载荷施加、模具型面确定、模具结构与制造、工艺参数的确定等。虽然蠕变时效成形具有回弹小的特点,但仍然需要根据产品三维形状和回弹量预测确定模具型面。考虑到气压加载和便于加工等问题,蠕变时效成形模具一般采用组合卡板式结构。

2 蠕变时效成形技术发展趋势

(1) 数字化。模具型面的设计基于蒙皮数模,结合 CAE 技术。模具制造中采用数控加工、数字测量、激光定位等先进的数字化技术。

(2) 自动化。特大型蒙皮和壁板的转运、定位等均采用成套自动化设备完成,加载和时效环境的控制可自动实现。

(3) 应用范围将被拓宽。蠕变时效成形工艺主要应用于飞机机翼的上翼面制造,材料为 2024 铝合金。而下翼面受拉伸载荷作用,对材料耐损伤要求高,商用飞机一般采用 2024 - T351 铝合金,此材料不适合蠕变时效成形,需要发展更多适合蠕变时效成形的材料,拓宽蠕变时效成形的应用范围。

激光钣金成形技术

激光弯曲成形的基本原理是利用高能激光束扫描金属板料表面,激光束的辐照能量确保板料达到的最高温度低于材料的熔点,同时在板料内部产生非均匀的温度分布,由于激光辐照产生的温度梯度在板料内部形成了热应力,最终板料在内部热应力的作用下产生了弯曲变形。即基于材料的热胀冷缩特性,以高能激光为热源的一种热应力塑性成形方法。其具体工艺过程是用高度聚焦的激

光束照射在成形板料的表面,并以确定的速度沿预定的曲线移动。

激光成形包括激光辅助成形和激光无、半模成形两大类,它涉及激光、热传递、热变形、材料等多个学科。激光成形是目前精密钣金成形技术发展的新趋势,欧、美等发达工业国家都投入大量的经费进行研究,特别是航空工业对此非常重视。国际上,对激光成形的现象规律和激光弯曲机理研究较多^[7-15],而用于飞机蒙皮大型薄壁件的成形和校形研究目前处于起步阶段,德国在这方面已经进行了一些研究工作。

在分析现有激光成形研究成果的基础上,作者提出一种预应力激光成形的概念,即通过外界载荷(夹具等工装)对需要成形的蒙皮类零件施加预应力,使蒙皮件保持一定的形状,而后通过激光进一步的成形。预应力激光成形实际上是在激光照射下非均匀温度场引起的热应力和预应力共同作用下产生塑性变形的过程,这种方案更有利于实现蒙皮件的精密成形。根据提出的预应力激光成形方法,进行了验证性探索,试验表明预应力激光成形工艺参数的影响因素多而复杂,但此方法可行。

激光成形作为一种新的成形工艺方法,必将给钣金成形带来新的生机。通过对预应力激光成形机理等基础问题的研究,突破关键技术,使激光成形技术实用化,从而解决大型蒙皮和整体壁板的成形和校形问题,提高成形精度,保证飞机质量,具有非常重要的军事和现实意义。

随着固态激光器的发展,激光钣金成形技术必然得到发展。将激光钣金成形技术应用于大型蒙皮成形成为一个新的方向,大型飞机使用的厚蒙皮和整体壁板成形可作为激光钣金成形技术应用研究的重点。

大型蒙皮制造的新趋势

近年来,复合材料在飞机上的应

用飞速发展,如空客 A380 复合材料用量达 25%,波音 787 复合材料的用量达 50% 以上。GLARE 蒙皮用于 A380 飞机的上机身蒙皮^[16]。采用 GLARE 工艺技术可以实现局部增强,并且厚度变化可以通过一次固化实现。787 飞机大型复合材料整体机身开辟了复合材料在飞机身上应用的先河。波音 787 机翼和尾翼的蒙皮均采用复合材料^[17],复合材料在飞机机翼上的应用已经成为民用先进飞机制造的标志性技术^[18]。

由于飞机逐渐采用碳纤维复合材料蒙皮或新型层板材料 GLARE 蒙皮,蒙皮的制造技术也随之改变。现有的金属蒙皮的制造技术(如喷丸成形、蠕变成形、压弯成形等)不再



适用,新的技术和设备被应用。蒙皮外形采用计算机辅助机器人进行碳纤维带铺层,然后整体模具放到热压罐中进行固化。波音 787 机翼铺层采用法国 Forest-Line 公司的大力神双头自动铺带机,该铺带机尺寸长 40m、宽 8m^[18],可以接受 300mm 的带宽。适用的热压罐大小为 8m×40m。机翼蒙皮层合板采用 Flow international 公司的大型高压水切割,切割机床身大小为

36m×6.5m。

新型非金属蒙皮的制造除了研究 RTM、RFI、VARTM 等工艺方法外,大型配套设备是关键,也是大型非金属蒙皮制造的瓶颈。

我国在铺带机方面的研究刚刚开始,与国际水平相差较远,大型热压罐制造技术也有待进一步发展,因此,大型关键设备仍然是我国大型蒙皮和壁板制造的最大障碍。

结束语

大型蒙皮和壁板制造应首先解决设备问题,引进或自行研制先进的大型数控喷丸设备、大型热压罐、大型铺带机;在设备上完善大型蒙皮和壁板制造的硬件环境;在工艺方面积极开展相关工艺方法和成形材

料的研究。将大型蒙皮材料、成形工艺、复合材料蒙皮铺层和固化工艺与设计工作综合考虑,通过联合研究解决大型飞机从设计到制造中的关键问题。应积极开展激光辅助成形、复合材料蒙皮制造方面的研究,探索大型蒙皮制造的新方法。

本文有参考文献 18 篇,因篇幅所限不能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 金卯)