

喷丸成形技术在民用飞机整体壁板研制中的应用

北京航空制造工程研究所 曾元松



曾元松

博士,研究员。主要研究方向为:整体壁板成形与强化技术、管件成形技术和钣金零件数字化制造技术等。荣获首届“中国一航十大杰出青年”称号、国防科工委“国防科技工业优秀博士、硕士学位”称号以及中国一航“航空报国突出贡献奖”。发表论文 50 余篇。

喷丸成形技术是一种利用高速弹丸流撞击金属板材的表面,使受撞击的表面及其下层金属材料产生塑性变形而延伸,从而逐步使板材发生向受喷面凸起的弯曲变形而达到所需外形的成形方法。其优点主要有:工艺装备简单,不需要成形模具,对零件尺寸大小的适应性强;喷丸成形后在零件厚度方向的上、下两个表

目前我国在飞机整体壁板喷丸成形技术与国外还存在一定差距,但是经过多年的基础研究,特别是通过 ARJ21 飞机机翼壁板的成功研制,我国的整体壁板喷丸成形技术水平已经步入国际先进行列。

面均形成残余压应力,能够改善零件的抗疲劳性能;既可以成形单曲率零件又可以成形复杂双曲率零件。

由于喷丸成形过程中无需专用模具和压力机,成形方法灵活多样,非常适合于小批量生产,因此被广泛用于飞机的机翼、机身以及运载火箭燃料箱等的整体壁板成形中。喷丸成形已成为现代飞机,特别是大型飞机整体壁板成形的主要方法之一。

喷丸成形技术在国外大飞机制造中的应用情况

由于具备诸多优点,喷丸成形技

术在美国和欧洲等国家的航空部门获得了重要应用,包括 A310-340 和 B707-777 等大型飞机在内的机翼壁板零件的成形均采用喷丸成形技术。如美国 MIC 公司以喷丸工艺数据库和数值模拟技术为核心,在优化喷丸成形工艺参数的同时可以为机翼壁板的设计提供可行性分析,从而减少了加工过程的设计更改。德国 KSA 公司目前已拥有一套集 CAD/CAE/CAM 为一体的整体壁板喷丸成形工艺系统,并完全实现了整体壁板的 CAD 模型喷丸工艺几何信息分析→成形过程的有限元模拟和工



艺参数的优化—完成壁板数控成形的一体化集成技术。

为满足大型飞机减重和长寿命的设计要求,机翼及机身壁板通常采用整体加筋壁板。这给机翼整体壁板的喷丸成形带来了极大的困难,采用预应力喷丸成形技术可以解决这个问题。

预应力喷丸成形是指在对零件喷丸之前,通过特定的工装夹具对零件施加预定的载荷,从而使零件预先生成一定的弹性变形,然后再对受拉表面进行喷丸成形。在相同喷丸强度和覆盖率条件下,预应力喷丸的成形极限是自由喷丸的2~3倍,同时预应力喷丸还可有效控制沿喷丸路线方向的附加弯曲变形。

目前,预应力喷丸成形技术在超临界机翼整体壁板的制造中已经获得应用,如加拿大NMF公司采用预应力喷丸技术为以色列Galaxy飞机制造的机翼带筋整体壁板,美国MIC公司利用预应力喷丸成形制造A380机翼下壁板。预应力喷丸成形技术的应用避免了采用机械压弯方法成形该类零件所带来的对疲劳寿命的不利影响。

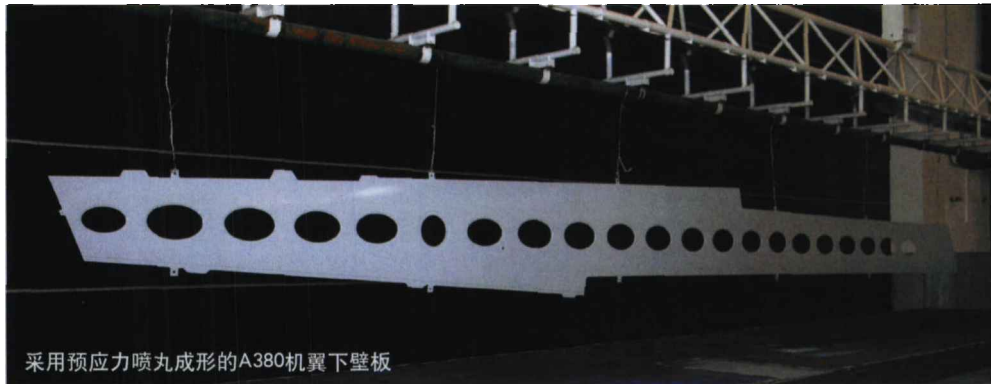
常规的整体带筋壁板板坯采用厚板机械加工而成,这种方法最大的缺点就在于材料利用率低,零件制造成本高。近年来,随着焊接技术(如激光焊接、搅拌摩擦焊)的发展,出现了筋条与蒙皮焊接而成的整体壁板结构,并在现代先进民用飞机上获得了广泛的应用。

在焊接整体壁板的成形技术方面,德国的KSA公司采用自动化喷丸成形技术实现了对A380激光焊接机身整体壁板的喷丸成形和校形。

喷丸成形技术国内研究现状

在工艺技术基础方面,北京航空制造工程研究所通过几个五年计划的预研课题,开展了机翼整体壁板数控喷丸成形技术基础研究,积累了大

量的LY12、LC4、7075、2024、7055、2324等材料喷丸基础工艺数据。从2003年开始,北京航空工程研究所联合西安飞机工业(集团)有限责任公司、西北工业大学和成都飞机制造工业(集团)有限责任公司,通过国防科工委民机专项科研课题,突破了从机翼壁板数模到满足适航要求的壁板零件的各个制造环节的关键技术,并于2006年成功研制出了ARJ21飞机大型超临界机翼整体壁板装机件,取得了包括马鞍形和扭转外形预应力喷丸成形技术、超临界机翼整体壁板喷丸路径设计方法和柔性预应力夹具等一系列关键技术



突破和创新,这些突破和创新为下一步大飞机机翼整体壁板采用喷丸成形技术奠定了重要基础。

在设备条件方面,西飞通过研制ARJ21,已经具备成形和强化最大尺寸20m×2.5m的设备能力;北京航空制造工程研究所从法国引进了超声喷丸设备、数控喷丸成形和强化设备,具备试验和研制最大尺寸为15m×2.5m的壁板模拟件的能力。

在喷丸成形工艺规范方面,国内已经编制了航标和新支线飞机喷丸成形工艺规范,正在编制民机喷丸成形工艺标准。

喷丸成形技术在我国大飞机研制中的应用前景展望

为了满足大型飞机减重、长寿命和低运营成本的设计要求,新研制大飞机的机翼型面将继续采用先进的

超临界翼型,机翼壁板的外形非常复杂;对于壁板的内部结构,其整体化程度与ARJ21机翼壁板相比将进一步提高,采用整体加筋壁板的需求越来越迫切;在壁板尺寸方面,大飞机的机翼翼展将比ARJ21的大1倍左右,在壁板分块方式不变的情况下其机翼壁板的尺寸将同比增大。

因此,整体壁板的喷丸成形技术仍然是大飞机研究所必须要解决的关键技术。为确保我国大飞机的研制成功,建议以ARJ21飞机机翼壁板喷丸成形技术为基础,参考国外先进整体壁板成形技术的发展趋势,并延续产、学、研相结合的联合攻关模

式,尽快开展如下工作:大飞机整体壁板材料的喷丸成形工艺基础试验;机翼整体带筋壁板预应力喷丸技术基础研究;机身焊接整体带筋壁板喷丸技术基础研究;大飞机典型整体壁板结构件的演示验证和工程化应用研究。

结束语

虽然目前我国在飞机整体壁板喷丸成形技术方面与国外还存在一定差距,但是经过多年的基础研究,特别是通过ARJ21飞机机翼壁板的成功研制,我国的整体壁板喷丸成形技术水平已经步入国际先进行列。喷丸成形技术必将成为大飞机机翼和机身大型整体壁板制造的关键技术,为大飞机的研制发挥更大作用。

(责编 晓霖)