

喷丸成形技术及未来发展与思考

Shot Forming Technology and Its Development Trend and Thinking

北京航空制造工程研究所 尚建勤 曾元松



尚建勤

北京航空制造工程研究所研究员,长期从事材料加工技术研究,致力于包括喷丸工艺在内的冷、热特种加工技术研发,国家科学技术进步二等奖获得者。

2005年4月27日,载客量最多(可达800余人)的空客A380飞机一飞冲天首飞成功,人类民航客机历史上新一代空中巨无霸横空出世,至此自1969年2月9日以来,雄踞该宝座30余年的波音747飞机,只能退居第二。无论空客A380还是波音747,在9万飞行小时寿命周期内安全可靠地飞行,必须借助一对巨大机翼产生足够的升力。机翼是飞机制造中最复杂、最困难、最关键的部件,

喷丸成形是一种借助高速弹丸流撞击金属构件表面,使构件产生变形的金属成形方法,喷丸成形是一种无模成形工艺,是大中型飞机金属机翼整体壁板首选的成形方法。

机翼上最重要的零件之一是与飞机外翼几乎等长的机翼整体壁板。飞机机翼整体壁板,是一种能够有效提高飞机性能的重要承力构件,是衡量飞机先进程度的一个重要标志。30余年来,波音747和空客A380飞机的大型机翼整体壁板成形不约而同地先后选用了喷丸成形工艺。

喷丸成形

喷丸成形是一种借助高速弹丸流撞击金属构件表面,使构件产生变形的金属成形方法,喷丸成形是一种无模成形工艺,是大中型飞机金属机翼整体壁板首选的成形方法,其原理如图1所示。按照驱动弹丸运动的方式,喷丸成形分为叶轮式喷丸成形和气动式喷丸成形,两者没有本质区

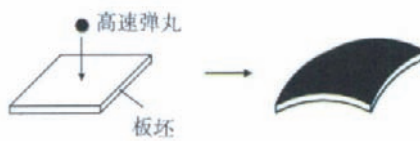


图1 喷丸成形原理示意图

别;按照喷打方式,喷丸成形分为单面喷丸成形(见图2)和双面喷丸成形(见图3),双面喷丸成形主要用于复杂型面构件的成形;根据喷丸成形时构件是否承受弹性外力,喷丸成形分为自由状态喷丸成形(见图4)和预应力喷丸成形(见图5),预应力喷丸成形可以获得更大的喷丸变形量和更复杂的构件外型。

喷丸成形工艺优点显著:成本低——无需成形模具、生产准备周期短、场地占用少、零件尺寸不受设备喷丸室大小限制等;品质高——具有疲延长制件疲劳寿命、提高制件抗耐腐蚀性能的潜质等。自20世纪中叶以来,喷丸成形工艺被广泛应用于飞机尤其是运输机金属机翼整体壁板的成形,包括当前正在营运的所有空客客机系列飞机、波音客机系列飞机、庞巴迪客机等。目前,国内飞豹、枭龙、歼10、ARJ21等飞机机翼整体壁板也采用了喷丸成形工艺。因此,喷丸成形技术是大中型运输机金属

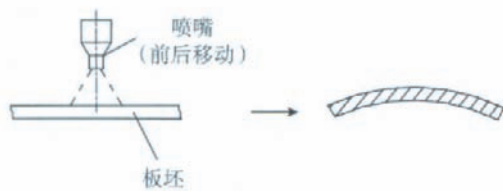


图2 单面喷丸成形示意图

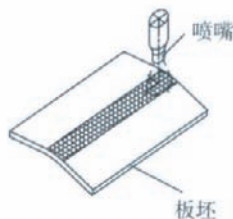


图4 自由喷丸成形示意图

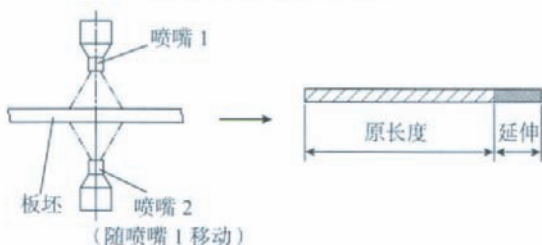


图3 双面喷丸成形示意图

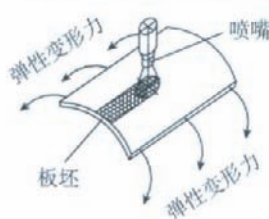


图5 预应力喷丸成形示意图

机翼制造领域不可或缺的重大关键技术之一。

不过,喷丸成形也具有明显的局限性,如球面变形趋势、变形有限、限制条件苛刻、影响因素繁多等。然而,喷丸成形优异的特点使人们不断寻求突破其局限性的新途径和新方法,不断挖掘喷丸成形技术内在潜力,持续满足以大中型客机复杂金属机翼整体壁板为代表、要求不断提高的构件成形与特殊使用性能要求。

在国外,自20世纪50年代初期将喷丸工艺应用于飞机机翼壁板成形以来至20世纪50年代末,喷丸工艺已被西方航空工业大国广泛应用,目前大型机翼整体壁板喷丸成形技术已经被美国金属改进公司和美国波音公司等少数几家公司垄断。伴随机床控制技术的进步,喷丸设备由过去的机械控制喷丸机发展到后来的数控喷丸机。此外,通过竞争兼并,已经形成高度垄断、大型、专业化、喷丸工艺及设备兼营的跨国集团公司喷丸成形设备供应商,如美国金属改进公司等。随着大型运输机机翼设计技术的发展,喷丸成形技术经历了带纵筋机翼整体壁板蒙皮类零件到不带筋条机翼整体厚蒙皮类零件和带曲筋机翼整体壁板类零件的喷丸成形等发展阶段。波音系列客机和

空客系列客机的金属机翼整体壁板喷丸成形是喷丸成形技术成功应用的典型代表。

如图6所示,A380飞机超临界外翼下翼面整体壁板长度30余m、厚度30余mm,是迄今采用喷丸成形技术所获得的长度最长、厚度最大的构件,代表了国际喷丸成形工艺技术的最新成果。

在国内,开展喷丸成形技术研发已近40年,历经机械控制喷丸和数控喷丸等发展阶段,20世纪90年代以来迈入数控喷丸成形时代,先后数控喷丸成形成功第三代飞机等机翼整体壁板,以研制成功ARJ21飞机超临界外翼下翼面整体壁板(见图7)为标志,国内首次实现真正意义上的喷丸成形。

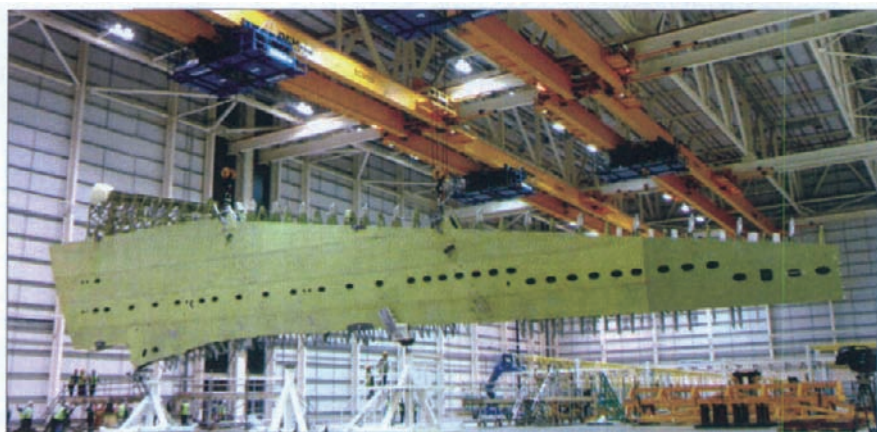


图6 采用预应力喷丸成形的A380机翼下壁板

ARJ21支线飞机超临界外翼下翼面整体壁板长度10余m、厚度10余mm,是国内采用喷丸成形工艺技术所获得的长度最长、厚度最大、外型最复杂的构件,被公认为国内喷丸成形技术最高成就。

长期以来,国内外喷丸成形技术研发十分活跃,新手段新方法相继出现,如以增大变形量为目的的不同大小弹丸同时双面喷丸方法、以控制喷丸区域和变形为目的的超声喷丸、以增加残余压应力层深度与残余应力大小为目的的激光冲击喷丸、以开辟喷丸成形新途径为目的的高压水喷丸、以显著提高材料利用率为目的的激光焊接与摩擦焊接带筋整体壁板喷丸成形等。

预应力喷丸成形

预应力喷丸成形,是指在喷丸成形前,借助预应力夹具等,预先在板坯上施加变形力,形成弹性应变,然后对其进行成形的一种喷丸成形方法。在以直纹外型面为主的厚蒙皮与整体壁板逐渐淡出,而具有复杂双曲外型面的厚蒙皮与无筋或带筋整体壁板逐步成为应用主流的情况下,预应力在喷丸成形中的作用日益突出。

预应力喷丸成形具有3个显著作用:(1)在一定程度上改变喷丸球面变形趋势、控制喷丸变形主要方向;(2)提高构件喷丸工艺性;(3)

增加构件喷丸变形量和外型复杂程度。国内认识和应用预应力喷丸的历史几乎与喷丸成形技术的历史一样长,但是至 20 世纪后期,由于预应力喷丸成形受应用对象及效果的影响,未受到应有的重视。

20 世纪 90 年代中后期,预应力在国内逐渐受到重视,将其作为影响喷丸成形的重要因素之一加以研究。由此,揭示了简单预应力喷丸变形的规律,阐明了预应力喷丸变形的 3 种形变现象,提出了精密预应力喷丸成形的概念和依据。针对喷丸成形基本问题、典型问题及亚欧快车 AE100 飞机超临界机翼整体壁板喷丸成形问题等,开展了一系列预应力喷丸成形技术专题研究,最终有效地解决了过去国内乃至国际上一直悬而未决的技术难题,形成多项专有技术,丰富了预应力喷丸成形技术内涵,推进了预应力喷丸成形技术发展进步,奠定了包括超临界机翼整体壁板在内的大型复杂构件预应力喷丸成形技术基础。

进入 21 世纪,伴随着承载中华民族民族梦想,具有我国自主知识产权的 ARJ21 先进支线飞机的正式立项研制,国内真正迎来了超临界机翼整体壁板喷丸成形时代。ARJ21 飞机在国内首次采用超临界机翼,该机翼是 ARJ21 飞机最大的亮点和先进性标志。机翼整体壁板长度和厚度尺寸之大、结构和外型之复杂均创造了当时国内之最,其喷丸成形面临一系列跨时代技术难题、成为 ARJ21 飞机研制的关键技术瓶颈。在国内,仅仅能够承担制造 ARJ21 飞机机体,而配套发动机等主要系统几乎全部由国外制造商成套提供。在这种背景下,该机超临界机翼整体壁板喷丸成形技术能否成功突破,攸关 ARJ21 飞机研制的成败。

不负时代,不辱使命。几乎与空客 A380 飞机外翼下翼面整体壁板预应力喷丸成形同步,国内成功实现

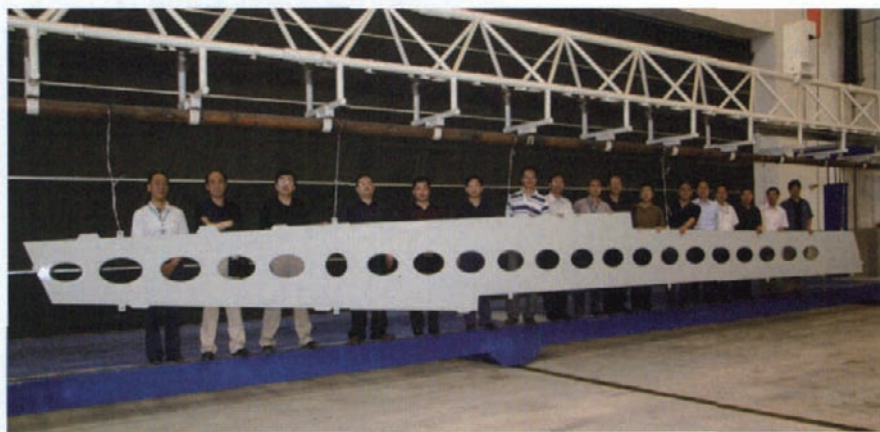


图7 ARJ21飞机机翼下中壁板零件

了超临界机翼整体壁板预应力喷丸成形技术的一系列重大突破,形成多项专有技术和 ARJ21 飞机超临界机翼整体壁板预应力喷丸成形批产能力。中国因此成为世界上少数几个掌握大型超临界机翼整体壁板数控预应力喷丸成形技术的国家,技术水平达到同类技术的世界先进水平。

国际竞争无止境,技术进步无终期。近年来,复杂外型曲筋整体壁板逐渐成为国内数控预应力喷丸成形技术研究热点之一,目前已经在该领域获得了国际前沿的关键技术突破。由于预应力喷丸成形技术的独特优势,今后其重要性必将更加突出。

发展趋势

大中型运输机机翼整体壁板是喷丸成形主要对象之一。随着复合材料机翼飞机——波音 787 梦幻飞机 2009 年的成功首飞,规格相当的另一款复合材料机翼飞机——空客 A350 紧随其后正在紧锣密鼓地研制,一时间金属机翼已经过时的观点盛行。然而,2009 年 9 月,复合材料制造技术水平国际一流、独家承制波音 787 复合材料机翼等重要复合材料零部件、并于 2006 年 4 月将首架波音 787 复合材料机翼交付美国波音公司的日本,将其正在研发的 MRJ70/90 支线飞机复合材料机翼改回金属机翼——铝合金机翼,其目

的是优化机翼结构设计、易于机身加长、减少生产准备时间、增强整体竞争力,该事件逆流而动,令世人震惊,令业界和科技界深思。如何评价该事件对大中型运输机机翼选材的影响为时尚早。欧美采用复合材料机翼的目的,并非仅仅出于技术经济因素的考虑,还有一个目的就是提高研制和生产大型客机的准入门槛,这也许可以部分解释日本颠覆 MRJ70/90 支线飞机机翼原先设计方案的原因。此外,在国内与大型金属机翼相关的冶金和机械等工业制造体系同国外尚有巨大差距,且仍未完全配套的状况下,一味盲目轻视金属机翼跟风复合材料机翼,期望跨越大中型金属机翼发展阶段、直接跨入复合材料机翼时代的做法隐患多多。在今后相当长一段时间内,在中国乃至世界金属机翼运输机生产、销售和运营仍将占据主导地位,喷丸成形技术的发展和前景在世界范围内依然光明,技术经济市场广阔。未来喷丸成形技术发展趋势将呈现以下特点。

(1) 喷丸成形对象及设备大型化,如大型复杂外型整体壁板、大型整体结构等喷丸成形,它们需要大型喷丸成形设备及相应喷丸成形技术。

(2) 喷丸外型结构日益复杂化,即在现有可喷丸成形构件外型、结构和形状的基础上更加复杂,要求更大的喷丸变形量。

(3) 喷丸成形过程智能化,最大限度地把人力从繁杂的喷丸成形工艺过程中解放出来,提高喷丸成形质量和效率,而现代科技发展进步使喷丸成形过程智能化的逐步实现成为可能。

(4) 喷丸成形手段日趋多样化,如激光冲击成形等已经出现,相信今后一定会涌现出其他喷丸成形新方法,满足对喷丸成形多样化的需求。

思考与建议

1 现状分析

40年来,国内喷丸成形技术取得了长足发展和显著进步,但是现状不容乐观,存在诸多问题,亟待解决。缺乏定期技术交流与培训机制,影响整体喷丸成形技术水平提升与推广应用。重跟踪轻创新,不利于喷丸成形技术进步与创新。习惯于打“歼灭战”,期望一次性彻底解决全部问题,缺少持续技术研发;“歼灭战”思想,不符合科研规律,不利于喷丸

成形技术进步,花费多、效率低、效果差。工艺标准难以全面反映国内最新科研成果,削弱了促进和推广应用先进喷丸成形技术的作用,甚至成为一些单位使用落后成形手段的冠冕堂皇的依据。科研成果是科研单位的主要产品,总是被低估、贱卖至几近无偿奉献,助涨科研单位企业化、生产企业科研单位化现象,大而全、小而全、低水平重复、资源浪费,不利于喷丸成形技术进步。国内数控喷丸成形设备几乎是清一色的进口设备,这一现象背后是国内相关研发人才严重缺失、研发能力严重退化甚至消失和技术体系畸形发展,代价昂贵,后果令人担忧。

2 发展建议

国内喷丸成形领域长期存在的问题是有关运行机制与模式失调的一种客观反映,尽早改进、理顺及完善相关机制与模式是解决问题的基本途径;建立定期交流与培训机制,促进喷丸成形技术交流与提高;尊

重科研规律,重视持续研发,减少应急性科研攻关;注重科研项目及指南前瞻性、创新性、先进性、实用性;喷丸成形技术跟踪与创新并举,推陈出新,不断满足国内外需求。完善喷丸成形工艺标准建立、形成和修订机制,使之及时反映国内最新喷丸成形技术成果,确保工艺标准先进性和权威性;通过技术示范、成果推广与技术培训,淘汰落后工艺,普及先进技术;有效协调、平衡、化解生产企业与科研单位之间利益矛盾,充分调动技术交流与协作积极性,形成良性互动技术研发链,稳定研发队伍,发挥需求牵引与技术推动的双重作用,促进喷丸成形技术持续进步和现实生产力不断提高;充分重视设备研发,优化机制与模式,利用社会资源,模块化集成,交钥匙方式,促进喷丸成形设备研发;最终,全面促进先进喷丸成形技术体系建设,更好地满足、服务和推进国家发展需要。

(责编 岩石)

FAIERR® 芬尔把手点缀精美机械

手轮 合金拉手 把手 手柄类 水平调整件 铰链

唯有更专业 才有高品质

● 压紧把手 ● 拉紧把手 ● 顶紧把手

扬州芬尔机械配件有限公司 YANGZHOU FAIERR MECHANICAL FITTING CO.,LTD.

地址: 江苏省扬州市沙头镇施沙路8号 邮编: 225105
 电话: 0514-87533188 87533288 传真: 0514-87533288 87533088
 http://www.faierr.com E-mail: sale@faierr.com.cn

广告索引号10-077