

航空钣金特种成形技术及设备

Special Forming Technology and Equipment of Aeronautical Sheet Metal

中航工业北京航空制造工程研究所 尚建勤 韩秀全 李继贞 余肖放



尚建勤

研究员,中航工业金属塑性加工一级技术专家,长期从事金属塑性加工技术研究,致力于航空钣金成形技术研究及设备研发,荣获包括国家科技进步二等奖在内的科技奖多项。

制造业是国民经济重要基础产业,金属成形是制造业的重要组成部分,钣金成形属于金属成形领域;航空钣金成形技术是钣金成形技术的一个重要方面,也是航空制造工程支柱技术之一,能够使航空产品同时获得高结构效率和优良性能的基础制造技术之一,对航空产品制造质量、

航空工业始终面临世界范围激烈而残酷的竞争,一贯追求航空产品性能更高、寿命更长、竞争力更强及经济性更佳,因此航空钣金成形技术也不断被深化与拓展,形成特色鲜明的航空钣金特种成形技术。

周期和成本影响显著,作用与地位十分重要。航空工业始终面临世界范围激烈而残酷的竞争,一贯追求航空产品性能更高、寿命更长、竞争力更强及经济性更佳,因此航空钣金成形技术也不断被深化与拓展,形成特色鲜明的航空钣金特种成形技术。如可以提高难变形材料塑性和成形精度的(加)热成形技术、能够获得复杂外形与结构并显著减少工序数量的超塑成形/扩散连接技术、用于复杂回转体零件成形的旋压成形技术及实现大型复杂整体壁板低成本和高性能成形的喷丸成形技术等。设备是工艺的载体,航空钣金特种成形设备与工艺也不例外,而且两者历来相辅相成,新型工艺往往催生新型设备,而先进设备又促进工艺的发展与

应用;同时,先进航空钣金特种成形设备开发能力是一个国家航空制造工程实力的重要标志之一,世界航空工业强国竞相开发先进航空钣金特种成形设备。

特种成形工艺

在这里航空钣金特种成形工艺主要是指(加)热成形、超塑成形/扩散连接、旋压成形及喷丸成形等4类成形技术,该4类特种成形工艺使用设备、成形方式、模具形式、成形温度、主要成形对象、材料(热处理)状态、主要成形零件、工艺优点及国内外水平对比等见表1,成形典型钣金零件见图1,其中国产壁板利用北京航空制造工程研究所负责开发的喷丸成形技术研制,其余国产零件均由

北京航空制造工程研究所研制或成形加工。

航空钣金特种成形工艺,与相应的普通钣金成形工艺相比,看似仅仅是工艺影响因素的简单增加或改变,然而每增加或改变一个工艺影响因素往往会使工艺过程复杂程度成倍、成数倍地增加或改变。如钛合金(加)热成形,尽管仅在普通冲压工艺中引入温度这一个工艺因素,但是因此而产生的工艺问题则远不止一个:高效加热与有效冷却的矛盾、加热平台材料耐热性和热硬性与其加工工艺性之间的矛盾、模具急冷急热破裂、模具表面及内腔高温氧化、模具热胀、零件冷缩、零件表面氧化、模具与毛坯表面润滑、低熔点金属接触腐蚀、材料吸氢、材料与模具粘黏等。面对因工艺过程更加复杂而产生的诸多工艺问题,必须逐个予以有效解

决,否则工艺难以获得良好的应用。通常,一项航空钣金特种成形工艺由开发到基本成熟的过程复杂、漫长且充满困难,耗时短则数年、多则数十年甚至数十年,如国内开发钛合金超塑成形/扩散连接技术花费了20余年时间。

作为国内唯一从事航空制造技术研发的专业研究机构,北京航空制造工程研究所在国内长期开发(加)热成形、超塑成形/扩散连接、旋压成形及喷丸成形等技术,并且奠定了良好的技术和应用基础,技术水平处于国内领先水平与世界先进水平;通过合作,在以上航空钣金特种成形技术领域基本满足了过去和现阶段国内航空产品的研制和生产需要,也可部分满足今后的实际应用需要。

与国外相比,国内虽然在技术水平、应用深度及广度上仍然存在一定

差距,但是已经具备与国际顶级同行一争高下的坚实基础。

特种成形设备

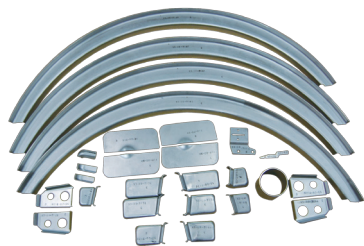
航空钣金特种成形设备,与以上4类特种成形工艺相对应,包括分别用于(加)热成形、超塑成形/扩散连接、旋压成形及喷丸成形的热压机、超塑机床、旋压机及喷丸机。

1 热压机

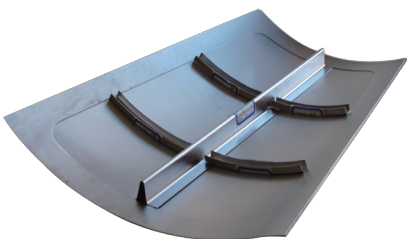
热压机相当于液压机与加热冷却系统的组合体,目前主要用于钛合金钣金零件的成形。其中液压机类似普通液压机,只是较普通液压机的闭合高度多出大约等于上、下加热冷却系统(平台)厚度之和的高度。热压机加热冷却系统是一对矛盾的统—体,加热系统必须与冷却系统配套使用。冷却系统一般采用水冷,阻断加热平台与床体之间的高温传导与

表1 航空钣金特种成形工艺特点

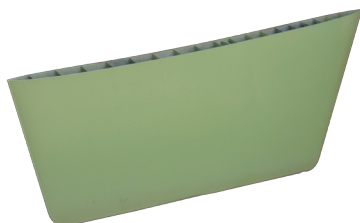
序号	1	2	3	4
成形方法	加热成形	超塑成形 / 扩散连接	旋压成形	喷丸成形
使用设备	热压机	超塑机床	旋压机	喷丸机
成形方式	加热状态-加压-成形-保压/校形	热态-外表施压-扩散连接-内腔施压-超塑成形	室温/加热状态-逐点-逐线-沿芯模型面成形	室温条件下-逐点-逐线-逐面-渐进成形
模具形式	偶合模	半模	半模	无模
成形温度/℃	550 ~ 750	700 ~ 1000	室温/加热 150 ~ 1100	室温
主要成形对象	钛及钛合金	钛及钛合金	铝、钛、铌、钽及高温等合金	铝合金
材料状态	退火状态	退火状态	退火状态	零件最终状态
主要成形零件	各类钣金零件	复杂形状与结构钣金零件及其整体结构件	各种回转体钣金零件	机翼与机身整体壁板
工艺优点	减少皱折、防止裂纹产生、避免破裂,降低变形抗力、提高材料塑性、增大变形量、提高材料成形工艺性和零件形状复杂程度,降低残余应力、减少变形回弹、提高成形质量	仅需 1/2 模具、显著减少零件与工序数量,变形量成数十倍增加,可成形出形状特别复杂的钣金零件,与扩散连接工艺结合可以获得外型与结构异常复杂的轻量化整体结构件	仅需 1/2 模具、准备周期缩短、材料变形量大且利用率高、成本费用低,变形抗力低、所需设备吨位小、弥补材料缺陷、改善材料性能,是回转型面零件经济有效的成形方法	无需成形模具、准备周期短、场地占用少、零件长度几乎不受设备限制、加工成本低廉,制件获得抗疲劳潜质、耐腐蚀性高,是大中型金属机翼与机身整体壁板首选成形方法
国内外水平对比	国外和国内开展该项研究分别始于 20 世纪 50 年代和 60 年代,目前国内外工艺技术大体处于同一水平,但是,国内热成形零件尺寸要小一些	国外和国内开展该项研究分别始于 20 世纪 70 年代和 80 年代,反映该工艺水平的米级宽弦空心扭转叶片,国外已经投入应用,国内接近实际应用	国外和国内开展该项研究分别始于 20 世纪 40 年代和 60 年代,代表该工艺水平的指标之一——零件回转直径,国外超过 5m,国内不到 3m	国外和国内开展该项研究分别始于 20 世纪 40 和 60 年代,显示该工艺水平的壁板长度和厚度,国外 35m 和 30mm 以上,国内 20m 和 30mm 以内



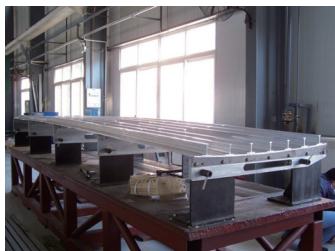
(a) 热成形零件



(b) 超塑成形 / 扩散连接零件



(c) 旋压成形零件



(d) 喷丸成形机翼壁板



图1 国内典型钣金零件



(a) 带测压系统的国产开式热压机



(b) 中外合作研制的闭式热压机

图2 国产热压机

交换,以保证整个机床长时间持续正常工作。

热压机可分为开式和闭式,也可分为单动和双动,各种热压机特点与

普通液压机类似。一般带顶料系统以方便取件卸料。此外,也可配套测压系统以便成形出形状更加复杂的零件。

工作温度、加热平台工作区范围及吨位是热压机的3个重要技术指标,国产与国外热压机技术指标正在拉近,但是现实需求等因素决定了国产与国外的热压机之间总体差距在一定时期内仍将继续存在(图2)。

2 超塑机床

超塑机床类似热压机,当前主要用于钛合金零件超塑成形与扩散连接。超塑机床与热压机相比,工作温度高出约 200~400℃,加热冷却系统要求更高,机床制造更困难,且必须配套惰性气体气源、管路及气压控制系统。超塑成形 / 扩散连接高度较大的钛合金钣金零件时,需要额外配备四周加热系统,以保持超塑成形 / 扩散连接模具温度沿高度均匀分布(图3)。

超塑机床其他方面的情况也与热压机类似。

3 旋压机

旋压机类似车床,主要由床体、滚轮机构、液压进给系统及操作系统等构成,用于各类金属回转体钣金零件的成形。

旋压机可分为卧式和立式,也可分为单轮、双动及三轮。多轮旋压机适用于变形抗力更大零件的旋压成形,可以旋压成形更高质量与精度的零件。

目前,在机床吨位、旋压件直径及高度(或长度)等重要技术指标方面,国产与国外旋压机仍存在一定差距(图4)。

与传统带芯模旋压工艺相比,无芯模旋压技术具有显而易见的优越性,因此在国外一种新式旋压机——无芯模旋压机近年来开始进入人们的视野。

4 喷丸机

喷丸机与龙门铣床近似,由喷丸



(a) 国产超塑机床

(b) 进口超塑机床

图3 超塑机床

室、壁板送进机构、弹丸喷射回收筛分循环系统、压缩空气风选除尘系统及操作控制监控系统构成,主要用于大中型飞机金属机翼和机身整体壁板的喷丸成形。

喷丸机可分为气动式和离心式。气动式便于控制,适用于复杂外型结构整体壁板的成形。离心式弹丸流量大、工作效率高,适合于结构较筒

单的整体壁板成形。

目前,在机床控制系统、打击力及可喷丸成形壁板长度等主要技术指标方面,国产与国外的喷丸机仍存在不小的差距。

此外,类似喷丸成形工作原理与效果的超声和激光两种冲击成形手段,已经在国外呈现出大型数控设备化的势头(图5)。

自20世纪60年代以来,紧随航空钣金特种成形工艺技术研究与应用步伐,国内先后开发和制造并提供国内航空企事业单位多种航空钣金特种成形设备,图2~图5中的国产航空钣金特种成形设备均为北京航空制造工程研究所自主研制联合开发或生产,有效促进了国内航空钣金特种成形工艺、航空制造技术以及设备自身显著进步,在一定程度上满足了国内迫切需求,取得了有目共睹的成绩,也为今后研制、开发及生产具有世界先进水平的航空钣金特种成形设备奠定了一定的技术基础。

设备存在问题

近20年来,国内航空钣金特种成形设备落后现象已经明显改善。但是,相对特种成形工艺而言,国内航空钣金特种成形设备存在问题更多、更严重一些。倚重进口、性能偏低、理念乏新和模式欠佳等是国内航空钣金特种成形设备主要问题的4

- WSUT-P是五森研制新一代超声波专用探伤设备,设计先进,选材精良,精工细作的制造工艺。
- 用于航空航天、核电电力、石油石化等重要产品的管、棒材超声波检测。
- 高精度的主机检测系统,采用国际先进的电容耦合技术,旋转头、三辊定心驱动装置集成在同一升降检测平台上,保证探伤区域同心度及产品检测稳定可靠。
- WSUT-P配置计算机控制系统,提供人机交互界面、动画显示、数据存储、报表打印、通讯等功能。

上海五森检测设备研制有限公司

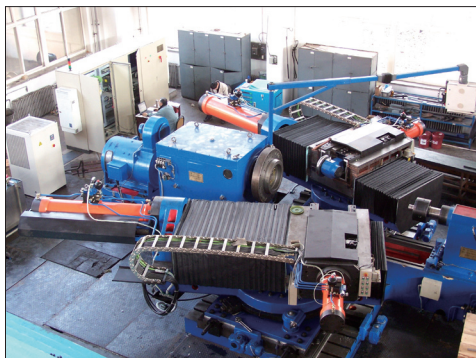
地址: 上海市宝山区大康路325号A-4

邮箱: wusenjiance@163.com

电话: 021-56484445 56484442

网站: www.wusenjiance.com

广告索引号 13-064



(a) 卧式二滚轮旋压机



(b) 立式三轮旋压机

图4 国产旋压机



(a) 国产喷丸机



(b) 国外喷丸机

图5 喷丸机

个方面。

(1) 倚重进口。近些年来,特种成形设备特别是大型设备主要依靠进口,利用进口设备生产航空产品已不是个别现象。如果这一现象继续发展下去,相关设备行业将严重萎缩,最终将市场拱手让人,难免受制于人,后果严重。目前,尴尬状况已显,当进口设备出现较严重故障时,只能求助国外设备供应商到生产现场排除故障,快则数天,慢则数周,严重影响正常生产秩序,且不利于技术等保密。

(2) 性能偏低。国产航空钣金特种成形设备性能、稳定性及可靠性较差且问题与故障较多,严重影响了设备使用企业正常生产,导致国产设备受欢迎程度不高。忽视核心技术开发和储备,缺乏开发新型先进设备的积极性与信心,仍停留在我能做什么,而未上升到客户需要什么便做什么,面对客户提出的、较高的设备

性能指标一压再压,最终尽管设备被制造出来了,但更多的是在低水平徘徊,因此错失技术水平上台阶的难得机遇。

(3) 理念乏新。国内迅速发展的航空制造业及其钣金特种成形技术,迫切需要研制新型钣金特种成形设备,然而研制或生产的首台设备常常问题较多甚至无法正常使用。有问题并不可怕,可怕的是长期以来人们对此却习以为常。实际上,航空钣金特种成形设备必须研制或制造一台合格一台,否则将耽误周期、浪费机会、扼杀希望以至丧失发展空间。

(4) 模式欠佳。国内更多的是以跟踪国外技术为主,因此,国产设备一开始便处于不利竞争位置。此外,国内缺乏模块化设计与制造、专业化分工协作、市场化利用与获取资源的自觉意识,喜好大包大揽,小到螺丝母大到床体与整机,结果是开发设备质量不高故障不少、制造与维护

成本高、开发周期长。

针对上述问题,应当重视核心技术开发与积累,采用模块化设计制造,专业化分工协作,市场化配置资源,信息化武装特种成形设备,严格满足客户技术指标等要求,以少量引进促进技术进步,通过技术与管理创新加速技术升级,以运行稳定可靠、维护间隔长、操作方便的优质先进航空钣金特种成形设备最大限度满足航空钣金特种成形需要。

设备发展趋势

未来,国内航空钣金特种成形设备将呈现出专业化、国产化、专用化、大型化及信息化5大发展趋势。专业化意味着高品质、高质量、高效率及低成本,要求设计、制造、控制、装配、调试、售后服务专业化,设计制造模块化,唯有专业化国内航空钣金特种成形设备开发才会有希望。国产化力求国内自主开发航空钣金特种成形设备,但是并不意味着保护落后和禁止进口,相反允许合理进口并保护公平竞争;航空钣金特种成形设备必须坚持国产化,这是使命和责任使然。专用化是指航空钣金特种成形设备用途更趋单一甚至仅针对某种特定零部件,可产生高效率;融合工艺与工装,为特定零件成形提供工艺及设备整体解决方案。大型化反映航空钣金特种成形设备重要乃至重大方向,不过大型化很容易被轻视和简单化;务必重视设备大型化趋势,应当提早预测、规划及实施,以应对当设备规格大到一定程度时,一些关键零部件因尺寸大在市场上难以获得,国内企业又不具备制造能力,而国外个别企业虽具备生产能力但其产品对中国禁运的可能困局。信息化已经成为一种不可抗拒的巨大潮流,国内航空钣金特种成形设备必须自觉适应信息化潮流,与数字、智能及无纸制造接轨。

(责编 深蓝)