

管材充液成形技术在国内航空制造领域中的应用

Tube Hydroforming Technology in Aviation Manufacturing Field

驻成飞公司军代室 杨建军
北京航空航天大学 阮尚文
西安嘉业精密制造有限公司 黄磊



杨建军

空军工程大学飞机机械专业研究生毕业,驻成飞公司军事代表,从事飞机钣金、焊接等飞机零部件质量监督工作, QMS 审核员、高级工程师。

作为衡量飞机综合性能的一项重要指标,飞机结构重量的增减直接影响飞机的机动性、航程、疲劳寿命和使用成本。因此,如何降低结构重量在整机重量中所占的比例,成为发

展新一代飞机迫切需要解决的问题。针对飞机结构件中常见的管类零件,除使用新材料外,另一重要减重途径就是改善零件结构设计,采用空心变截面、变厚度、空间曲面、薄壁高筋等轻体结构。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.12.100

展新一代飞机迫切需要解决的问题。针对飞机结构件中常见的管类零件,除使用新材料外,另一重要减重途径就是改善零件结构设计,采用空心变截面、变厚度、空间曲面、薄壁高筋等轻体结构。

相同质量的材料,其抗弯截面系数越大,即抗弯能力越强,抗扭能力符合这一规律。利用这一力学原理,对于以承受弯、扭载荷为主的结构,采用空心截面代替实心截面,既可以减轻零件质量,又能有效保证所用材料的承载能力。进一步研究发现,对

于承载复杂变化载荷的零件,通过设计沿轴线变化的零件截面,不仅可以保证零件强度,同时可以有效降低重量,节省空间。例如常见悬臂梁设计,采用空心截面等强设计,可减重约 1/2,采用变截面替代等截面结构,可以减重至原设计的 1/3 左右。从截面形状看,常见截面主要包括圆形、椭圆、矩形、梯形以及其他异形截面,如图 1 所示。

对于这种变截面式结构设计,采用传统加工工艺很难一步成形,或者加工成本较高,为解决这一难

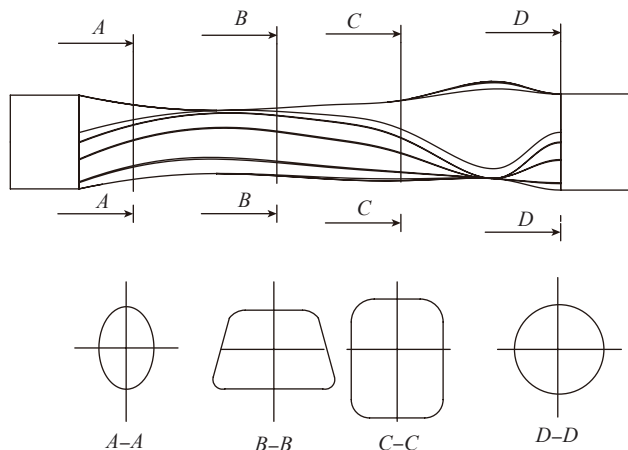


图1 变截面管

题,逐步发展提出了管材充液成形技术。

成形原理及设备

管材充液成形(Tube Hydroforming, THF),在其发展历程中曾被称作管材胀形(Bulge Forming of Tubes, BFTs)或液压鼓胀成形(Liquid Bulge Forming, LBF),在德国则通常被称为内高压成形(Internal High Pressure Forming, IHPF)。

管材充液成形属于金属液力成形的一种,将管坯放入模具的型腔当中,在内部高压液力与管端轴向力的共同作用下,迫使管坯填充型腔、鼓胀贴膜,成形为所需的零件几何形状,一般工艺过程如图2所示。

管材充液成形的内压来源,可以是最通用的液压油或乳化液,也可以是具有特殊功效的高压气体、粉末、弹性体、粘性聚合物、低熔点金属等。只要内压足够,管材充液成形技术对管坯材料与零件形状并无过多刚性限制,成形工艺体现出柔性特点。

充液成形设备主要包括压机系统、高压水系统、控制系统及配套模具。国际上知名的充液成形成套设备与技术服务的供应商有德国 Schuler、SPS 和瑞典 AP&T、美国 ITC 等,目前世界上最先进的制造设备的合模吨位可达 10000t,超高压压力可

达 1000MPa,内压、行程的误差可控制在 1% 以内。充液成形设备技术的发展是管材充液成形技术推广与应用的核心保障。

管材充液成形技术依托自身成形特点与设备优势,相比于金属管件传统的冲压、焊接成形工艺,体现出

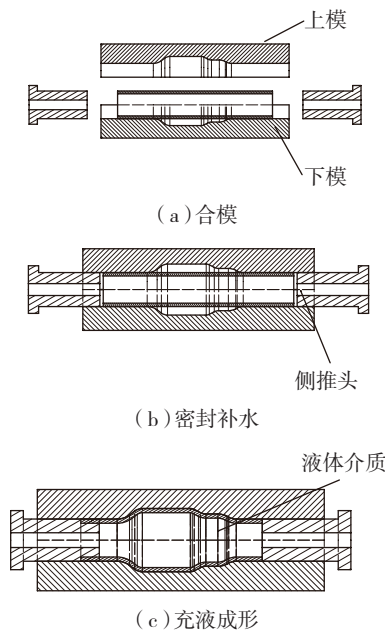


图2 管材充液成形原理



图3 航空发动机高压涡轮导向器叶片衬管

诸多的优点:

- (1) 零件成形适用范围广,提高零件的复杂程度;
- (2) 提高管材的成形极限,减少工序数和模具数,降低费用;
- (3) 减少成形后回弹,提高成形精度和表面质量,提高零件抗疲劳强度;
- (4) 提高零件的整体性和复合性,减少后续焊接工艺对零件性能的影响;
- (5) 简化工装模具,缩短生产周期,降低生产成本,符合金属管材成形行业对经济性、环保节能以及柔性化的要求,提高企业的生产效率和经济效益;
- (6) 实现复杂管材高压柔性成形,实现结构轻量化,提高成品合格率与使用性能。

国内研究现状及应用情况

目前,国内管材充液成形技术发展迅速,以哈尔滨工业大学和北京航空航天大学等高校为依托,与各主机厂相配合,针对多种用途异形截面管件进行工艺开发,并取得了丰富成果。

1 航空发动机高压涡轮导向器叶片衬管充液成形

图3所示为利用充液成形技术制备的某型航空发动机高压涡轮导向器叶片衬管^[1]。该类型零件的几何外形较为复杂,加工精度要求较高,传统工艺采用分瓣-冲压-拼焊方法。受工艺原理限制,零件形状精度较差,表面质量不高,且由于零件表面存在大量局部小变形特征,进一

步制约模具设计,而焊接更会导致严重的焊接变形,因此很难成形出合格的零件。

与传统工艺相比,管材充液成形技术非常适于加工双曲率复杂外形的导向器叶片衬管,具体工艺流程如下:

下料→锁边→密封→低压成形(预成形)→高压整形→切割。

与普通充液成形工艺相比,该工艺路线增加了低压成形工序,这是因为与常见变截面异形管相比,该零件截面扁平,极易在预成形压扁过程中发生材料失稳,形成死皱。为防止这种现象发生,在合模之前应将管坯两端密封,完成排气,并冲入较低压力液体,在内压力作用下保证管坯压扁过程中不会出现死皱。局部突起特征要求较高的成形精度,需要合模后增加管坯内压力实现高压整形。

2 超薄管件充液弯曲成形

采用数控弯曲、推弯、拉弯等常规弯管工艺,只能加工相对弯曲半径小于100的管材。而大型飞机的研制需要使用相对弯曲半径大于100的整体式弯管,且不能有沿轴向方向的焊缝,现有工艺均无法避免内侧起皱等缺陷。哈尔滨工业大学针对该问题,结合充液成形原理,提出双层管充液成形技术,其原理如图4所示^[2]。

内层管为要获得的薄壁管零件,外层管为工艺辅助套,通常为低碳钢厚壁管。内外双层管组成双层毛坯管,并对管端进行密封,在管内建立所需支撑的内压,如图4(a)所示,图4(b)所示为放入模具压弯后得到双层弯曲管,图4(c)所示为切除管头及外层辅助套后即可得到超薄弯管零件。

当双层管充液弯曲时,通过双管连接可对内层管产生轴向拉力,内管轴向应力拉、压分界线明显向管内侧移动,当轴向压应力小于管件失稳临界值时,管件起皱现象消失。

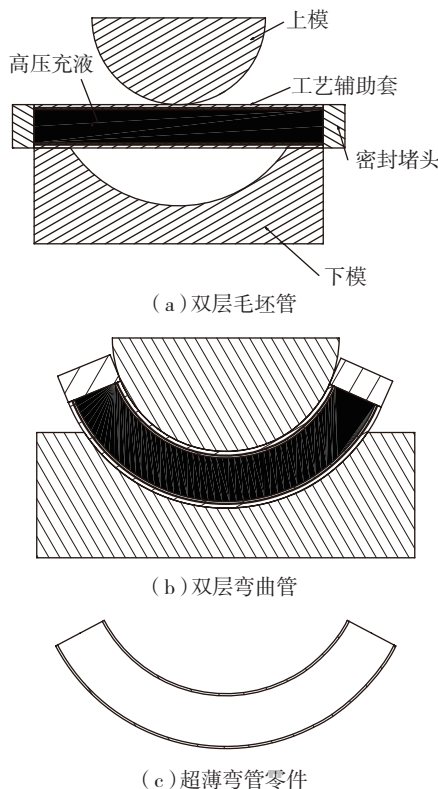


图4 超薄管件充液弯曲成形

3 薄壁Y形三通充液成形

普通T形三通管的充液成形技术已相对较为成熟,而Y形三通管结构不对称,材料流动困难,成形难度较大。在成形过程中,左右两侧进给量、支管冲头缩进量与液体压力匹配不当时,极易出现主管起皱和支管顶部破裂等现象。

为改善主管材料向支管流动,哈尔滨工业大学提出分步成形方法,即在成形过程中不断变换缩进冲头斜度,在每一步成形过程中减少材料在

Y形交接处的堆积,从而改善应力状态和变形条件^[3],最终得到合格零件。

4 铝合金椭圆形渐变截面管充液成形

图5所示为某型飞机主油管,传统加工工艺采用冲压→拼焊两道工序制备而成,主要有以下缺点:

(1) 焊缝过多,焊接变形大,成形零件的圆度难以控制,焊接后弯头两端的尺寸无法保证,焊接公差可控性差,废品率高,生产效率低下;

(2) 焊缝处应力大,并要进行无损检测,管道内部焊渣不易清理,增加了加工难度、焊接成本和质量检验成本;

(3) 该零件主要承受内部油液高频震荡冲击,极易在焊缝热影响区处发生开裂,一旦发生,后果不堪设想。

采用管材充液成形技术,利用无缝挤压铝管作为原始管坯,经弯管→预成形→充液整形3道工序制备的零件,不受焊缝影响,外形精度高,疲劳寿命比传统工艺提高200%以上。

存在不足及研究展望

目前,国内管材充液成形工艺的研究和应用存在以下局限和问题:

(1) 零件设计相对国外先进水平仍较为简单;

(2) 缺少前后工序的配套研究,工艺复合性差;

(3) 成形材料主要集中于不锈



图5 某型飞机主油管

(下转第107页)

结束语

现代航空发动机正朝着高马赫数、高推重比、高可靠性方向发展,使得发动机的服役工作环境更恶劣,给测试工作带来了新的难题和挑战。为了适应发动机研究发展的需要,航空动力强国在完善、升级现有测试技术和手段的同时,更致力于新产品、新技术的开发应用。现代传感器技术、激光技术、微电子技术、光电测量技术以及计算机技术的迅猛发展,为航空发动机测试提供了越来越先进的测试方法和手段。

虚拟化、数字化试验测试技术发展空间广阔,网络化、智能化测试和诊断技术,光学测试技术,发动机特种测试技术等日新月异,以 X 射线、中子射线、液晶、激光、光纤、微波、声波等技术为代表的非接触测试系统是现代航空发动机测试技术的发展方向,必将成为未来技术发展的重点。

参考文献

- [1] 侯敏杰. 加大试验研究,推动航空动力的自主创新. 中国燃气涡轮研究院,2007(8): 1-8.
- [2] 张宝诚. 航空发动机试验技术和测试技术. 北京:北京航空航天大学出版社,2005:391-418.
- [3] 黄春峰,蒋明夫,毛茂华. 国外航空发动机薄膜热电偶技术发展研究. 航空发动机,2011,37(6):53-57.
- [4] 王萍. 叶尖定时方法在国外航空发动机叶片振动测量中的应用综述. 航空科学技术,2013(6):5-10.
- [5] 黄春峰. 燃气涡轮发动机高温燃气温度测量技术. 2008年第九届发动机试验与测试技术学术会议,北京,2008.
- [6] 刘俊峰,黄春峰. 当前国外航空发动机旋转件信号测试的现状与发展. 航空与航天,2001(1):39-49.
- [7] 庄表南. 航空发动机振动、高温及间隙测试技术的发展研究. 南京航空航天大学学报,2006(6):18-36.
- [8] 黄春峰,侯敏杰,石小江. 航空发动机振动测量技术方法研究. 测控技术,

2009,28(S):21-33.

[9] 王明端,诸惠民. 光学诊断技术在发动机研究中的应用. 航空发动机,2000(2):58-62.

[10] 黄春峰,侯敏杰. 航空发动机叶尖间隙测量技术研究. 测量技术,2009,27(S):27-33.

[11] Liu T. Rotor blade pressure measurements in a high speed axial compressor using pressure and temperature sensitive paints. AIAA 97-0162,1997:1-11.

[12] Bideau R J. The development of computer code for the estimation of combustor exhaust temperature using gas analysis measurements. ASME 98-GT-180,1998:1-11.

[13] Buttsworth D R. Unsteady total temperature measurements downstream of a high-pressure turbine. ASME 97-GT-407,1997:1-10.

[14] Hubner J P. Pressure measurements on rotating machinery using lifetime imaging of pressure sensitive paint. AIAA 96-2934,1996:1-7.

[15] Heath S, Imregun M. A review of analysis techniques for blade tip-timing measurements. ASME 97-GT-213,1997:1-8.

[16] Green S L A J. The future direction and development of engine health monitoring(EHM) within the united states airforce. ISABE 97-7064,1997:1-9.

[17] Tagashira T. Measurement of blade tip clearance using an ultrasonic sensor. AIAA 97-0165,1997:1-8.

[18] William A. Stange advanced instrumentation technology for the integrated high performance turbine engine technology and high cycle fatigue program. ASME 98-GT-458,1998:1-6.

[19] Pashayev A M. Complex identification technique of aircraft gas turbine engines' health. ASME 2003-GT-38704,2003:1-9.

(责编 亿霖)

(上接第102页)

钢等塑性较好材料,高温合金及铝合金研究较少;

(4) 缺乏针对充液成形工艺进行零件结构研发设计能力。

针对以上问题,以下几个热点将成为管材充液技术的未来研究方向:

(1) 管材力学性能研究。

管材的力学性能是决定零件成

形难度的关键因素,是管材充液成形技术的根本。管材经过弯曲、焊接、退火等工序后,其应力应变曲线不能通过普通的单拉试验获得,如何获取精确描述管材力学性能的材料模型,是未来管材充液成形技术的研究热点。

(2) 建立管材充液成形的技术规范。

现阶段所研制的航空管材充液零件,多数由传统冲压件、机加件改变加工工艺而来,很少有专为管材充液成形工艺设计的零件,其选材需求、设计理念、检测标准等照搬原冲压、机加工艺。在管材充液成形技术蓬勃发展的前提下,必须尽快建立相应的设计准则、制造规范及检测机制,将该技术推向产业化。

(3) 铝合金管材充液成形的研究。

铝合金具有密度低、强度高、耐腐蚀等优良材料特性,但在室温下较低的塑性变形能力限制了其在复杂零件充液成形上的运用。采用高温加热方式提高铝合金塑性,从而实现复杂铝合金管材充液成形的工艺方案,将是未来研究重点。

结论

管材充液成形技术是制造空心变截面轻量化构件、实现钣金件整体成形的主流技术之一,在航空航天、汽车制造等领域具有重要的应用和发展前景。

参考文献

- [1] 郎利辉,程鹏志,邵天巍,等. 航空发动机导向器叶片衬管内高压成形工艺. 第十二届全国塑性工程学术年会第四届全球华人塑性加工技术研讨会,重庆,2011.
- [2] 刘泽宇. 薄壁管的充液压弯研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [3] 苑世剑,何祝斌,刘钢,等. 内高压成形理论与技术的新进展. 中国有色金属学报,2011,21(10):2523-2532.

(责编 一帆)