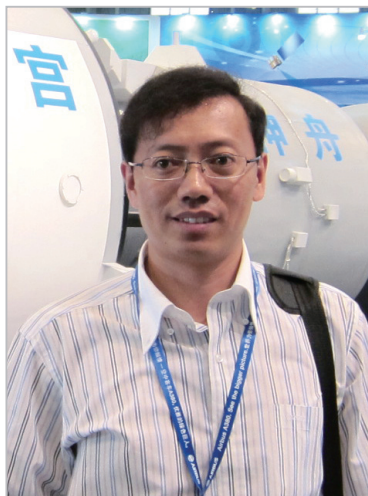


航空发动机浮壁式 燃烧室制造技术

Manufacturing Technology of Aeroengine Floating-Wall Combustor

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 邵天巍 杨秀娟 任 萍 李 霞 王立成



邵天巍

2001年毕业于北京航空航天大学。现任中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司钣金加工厂总工程师,主要从事航空发动机钣金机匣的制造工艺技术工作。曾获得中航工业科技成果三等奖。

燃烧室(火焰筒)是发动机的重要热端部件。在工作中,由于经受急热、急冷的热应力和燃气冲击力^[1],火焰筒易发生裂纹等故障^[2-4]。随着航空发动机向更新一代发展,采用原有的火焰筒结构,燃烧室进口温度、压力和出口温升将出现大幅度提高,使火焰筒壁温问题越发突出。

解决该问题主要通过2种途径:

燃烧室(火焰筒)是发动机的重要热端部件。在工作中,由于经受急热、急冷的热应力和燃气冲击力,火焰筒易发生裂纹等故障。随着航空发动机向更新一代发展,采用原有的火焰筒结构,燃烧室进口温度、压力和出口温升将出现大幅度提高,使火焰筒壁温问题越发突出。

一是,提高火焰筒材料的许用温度,提高火焰筒对高温的耐受程度;二是,改进火焰筒壁面结构,以提高空气冷却效率,从而在提高燃烧室进口温度、压力和出口温升的同时,还能保证火焰筒壁面的温度不致升高^[5]。

但是,目前火焰筒所使用的高温合金材料的许用工作温度很难提高,虽然新型陶瓷基复合材料(如C/SiC)可以替代高温合金材料,但是目前关于其实用性的研究还比较少,尚处于实验室阶段,研究仅限于这种材料的传热行为等^[6]。

在火焰筒材料许用工作温度难以提高的前提下,要提高火焰筒的性能,唯一的方法就是改进火焰筒壁面结构,提高空气冷却效率^[7]。冲击-对流-气膜复合冷却的浮壁式壁面结构有效地解决了新一代火焰筒的

冷却问题,同时还改善了壁面的受力状态,大大提高了火焰筒的性能。但结构的改变,给浮壁式结构火焰筒的制造带来了诸多技术难题,主要包括:(1)浮动壁火焰筒由原来的双层气膜结构变成了薄壁单层结构,整个内外环筒体的结构刚性和强度急剧降低,而其加工精度要求却提高了一个数量级,这对于整个工艺流程提出了更高的要求;(2)薄壁结构更容易产生焊接变形,且变形难于控制;(3)冲击-对流的冷却效果取决于浮动瓦冲击小孔与筒体上的对流孔能否形成对流效应,也就是冲击孔和对流孔的位置不能重叠,这一方面要求浮动瓦型面、定位螺栓、对流孔和扰流柱精铸的相对位置要非常精确,另一方面要求筒体上的浮动瓦装配定位孔和冲击孔的相互位置也要非常精

确,这对刚性极差的薄壁件难以做到。

针对该火焰筒结构刚性差,薄壁易变形,尺寸稳定性极差,尺寸精度要求非常高,结构复杂等难点,本文基于焊接结构力学理论,进行结构工艺规划,通过工艺优化设计、预留余量、刚性固定、分区激光打小孔等方法实现了火焰筒结构高精度制造,为新型战机的批量化生产、制造提供了一定的技术保障,本文提出的方法对于其他类似结构也具有指导意义。

火焰筒外环筒体组件 工艺路线的制定

通过对组件结构、联结方式、设计精度、热处理等特殊要求及各个组成零件的结构和尺寸的综合分析,结合火焰筒在发动机上的装配关系和使用要点,规划工艺路线为:以头部转接段作为装配焊接的基础件,首先将主燃孔短管掺混孔短管装配焊接在火焰筒外环上,将火焰筒外环和内环转接段同时装配定位焊到头部转接段上,形成火焰筒的骨架;其次往头部转接段装配钎焊涡流器安装座和挡溅盘,形成火焰筒的头部;再次装配焊接点火电嘴和射流喷嘴,往内环转接段和外环上装配并电子束焊接整体帽罩,完成火焰筒外环筒体的装配和焊接;最后进行真空热处理,校形,加工头部和吊挂,清洗、标印、终检(图1)。

火焰筒外环筒体的焊接 及变形控制

焊接热源的局部性特点,都会使焊接产生应力和变形。焊接应力和变形直接影响焊接的强度、刚性、受压时的稳定性、加工精度和尺寸稳定性等^[8]。焊接应力与变形的分布及大小受下列因素控制:材料的线膨胀系数、弹性模量、屈服点,焊件的形状、尺寸和温度场。而温度场又与材料的导热系数、比热、密度以及焊接

工艺参量和条件密切相关。这些情况使焊接应力变形问题十分复杂^[9],因此在实践中往往采用理论和数值分析与实验相结合的方法来掌握焊接应力变形的规律和影响因素,最终达到预测、控制和调控的目的。

1 头部转接段的焊接和变形控制

头部转接段是整个火焰筒的核心,起到承上启下的作用。该火焰筒的头部转接段与其他机种火焰筒的头部转接段不同。由平板料激光加工出的圆环件,整个零件刚性很低,抵抗变形的能力相对更差。与转接段直接相焊接的有内环转接段、火焰筒外环、涡流器安装座和挡溅盘。前两者与头部转接段之间为大的对接环形电子束焊缝,后两者与头部转接段之间为真空钎焊缝。在这些焊缝中引起头部转接段变形最大的是2条电子束焊缝。

焊接头部转接段时主要的焊接变形有:(1)宏观变形:包括收缩变形、失稳变形和扭曲变形,其中收缩变形又包括纵向收缩变形(沿焊缝方向的收缩)和横向收缩变形(垂直于

焊缝方向的收缩);(2)微观变形:包括屈服应变、弹性应变和塑性应变。其中收缩变形和失稳变形表现最为明显。

为保证头部转接段和火焰筒外环及内环转接段3者之间正确的相互位置关系和减小焊接变形,采取以下控制措施:

(1)在火焰筒外环和内环转接段的待焊处的背面预留锁底,锁底宽4mm,锁底突出主体2mm。预留锁底的作用为防止电子束焊接穿透产生的细微颗粒飞溅污染到火焰筒主体,起到保护的作用。由于火焰筒外环为薄壁零件,预留的锁底增加了待焊对接处零件的刚性,减小对接处的椭圆变形,从而使得对接处间隙比较均匀,预留的锁底起到轴向定位作用,使得内环转接段与外环之间的轴向相互位置不致差得太大。

(2)配车头部转接段的待焊配合面。由于火焰筒外环为薄壁环形件,刚性非常差,与转接段对接处椭圆严重,如果转接段按照设计图尺寸加工,将无法装配到火焰筒外环上,

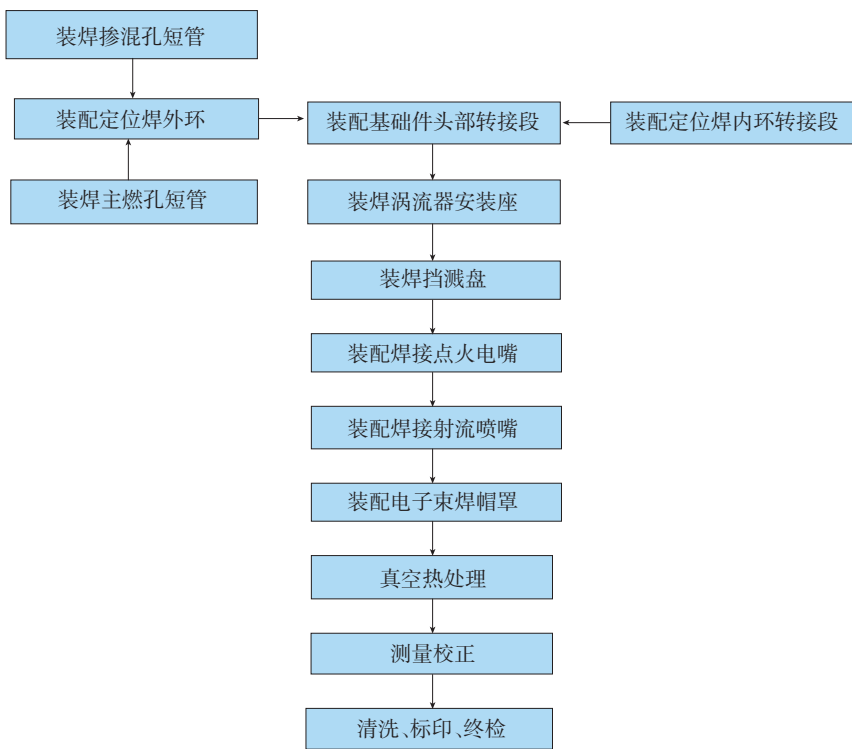


图1 火焰筒外环筒体工艺流程

即使强行装上,则因转接段在3个件中刚性最差会产生失稳变形,那么焊接后装配变形就转化为焊接变形。为了最大程度的控制焊接变形,转接段必须按台配车,才能保证装配局部间隙和局部过盈都趋于最小。

(3)控制变形最重要的手段是采用夹具装配定位焊,并在夹具限制状态下焊接。装配焊接时定位基准以转接段上头部孔中的几个均布孔定周向额度位置和径向定心,夹具辅助支撑转接段的下表面,压紧上表面,防止转接段在焊接受热时挠曲失稳变形;外环以出口处的止口定中心,出口端面定轴向;内环转接段以内口定中心,以螺栓孔定角向,以下端面辅助定轴向位置;3个定中心处严格同轴,从而保证3个件的轴向、径向和角向位相关系。

2 涡流器安装座和挡溅盘的装配和焊接

装配涡流器安装座和挡溅盘时最重要的是挡溅盘具有方向性,要严格向心,挡溅盘的内外弧装配后各构成一整圆,与头部转接段同轴。其次,挡溅盘与头部转接段之间的间隙要保持均匀。由于挡溅盘和涡流器安装座与头部转接段之间为真空钎焊,在高温下整个组件失去强度,所以内环转接段和整个头部会因重力作用倾斜下沉。为了保证真空钎焊后内环转接段、头部和外环3者之间的轴向相对位置正确,钎焊时必须用夹具支撑头部挡溅盘处和内环转接段处,并用止口限制内环转接段内孔和外环出口的止口,并保证两者同轴。

3 帽罩的焊接和变形控制

该火焰筒的头部帽罩与其他机种火焰筒的帽罩结构不同,其他机种的火焰筒帽罩都是两体式的,分为内环帽罩和外环帽罩,分别焊接或装配到内环和外环上。而该火焰筒的帽罩为整体式,帽罩的内环焊接在内环转接段上,帽罩的外环焊接在外环上。之所以设计成整体帽罩,目的是

让帽罩起到使整个火焰筒刚性加强的作用,弥补因平板式头部转接段所带来的刚性太差易变形的缺点。但是整体式帽罩为组件制造带来很大麻烦,帽罩的内止口与内环转接段的止口配合,帽罩的外止口与外环的止口配合,而帽罩的两侧边都带一定的锥度,让两个止口同时配合,还要保证帽罩的高度尺寸符合公差,几乎不可能做到,而且配合面与料厚方向成一定角度的锥面,各保留尖边。为了保证电子束焊接的配合间隙要求,采用配车帽罩的方法,配车时要综合考虑内外环的椭圆变形,使局部的配合间隙和局部的配合过盈大致相当,保证稍微敲修后过盈处能够装配进去,同时间隙处的间隙不致过大,能够满足电子束焊要求,另外装配时不能损伤零件的尖边,否则电子束容易穿透,造成焊漏。定位焊后要加密定位焊点,焊点间距不大于10mm,保证定位焊具有一定的连接强度,不致于在正式焊时零件因受热应力使定位焊点崩开而无法形成焊缝。焊接帽罩时因内外2条焊缝都产生焊接收缩,外圈焊缝的收缩使得外环具有缩短和变小的趋势,焊接应力压迫头部转接段直径缩小;内圈焊缝的收缩使得内环转接段直径缩小,同时将头部转接段内圆向内拉伸,最终的结果就是头部分度圆直径变小,涡流器安装座向内位移,帽罩的高度变短,同时因应力不平衡,内外环的轴向相对位置尺寸发生变化,涡流器安装座和挡溅盘发生倾斜,内外不在一个水平面上。帽罩焊接有利的一面是因焊接应力的作用,使整个零件的刚性加强;不利的一面是产生的焊接变形影响组件的尺寸精度和尺寸稳定性,内外环的高低差必须加以校正。否则,一方面影响火焰筒大组件的装配尺寸和火焰筒的部装,另一方面影响组合后加工余量的分布,另外还影响火焰筒的使用性能,喷嘴相对于涡流器安装座歪斜。

冲击孔及瓦片装配定位孔的加工

火焰筒内环组件的外表面和外环组件的内表面各装配几层多块浮动瓦片。每个瓦片都是锥扇形段,瓦片上铸出几个螺柱,螺纹机加工。其中中间一个螺柱为定位螺柱。对应的筒体壁上有几个光孔,中间定位孔为圆孔,其余几个孔为长孔。瓦片的内表面上密布着小扰流注,冲击孔位于扰流注之间。

为保证冲击孔与对流孔的位置不重叠,筒体上冲击孔和瓦片装配定位孔的位置度要非常精。但火焰筒筒体,尤其是外环筒体直径尺寸很大,壁薄,刚性差,如果一排一排地加工冲击孔,极难保证几万个冲击孔的位置度要求。所以,采取特殊加工方式,将整个外环筒体按照瓦片的装配关系划分成多个扇形区域,每个区域内均以瓦片装配定位孔为基准,激光切割冲击孔,因为每个扇形区域都较小,冲击孔的偏离就不会太严重。虽然增加了加工周期,需要找正几十次才能加工出一个零件,但却保证了质量,提高了精度,满足了新一代航空发动机对火焰筒性能的要求。

结论

(1)通过背面预留锁底、刚性固定等技术方法成功的控制了电子束焊接变形,通过配车装配面实现了火焰筒头部转接段、外环及内环转接段3者之间高精度连接;(2)通过夹具支撑方法可以避免高温钎焊过程中的薄壁结构下榻、同心度变差等问题;(3)预留余量与配车相结合可以补偿帽罩的焊接变形;(4)提出了分区打孔技术,可以保证结构良好的冷却效果。

本文共有参考文献9篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 三丰)