

电子束焊接在航空发动机制造中的应用

Application of Electron Beam Welding in Aeroengine Manufacturing

西安航空发动机(集团)有限公司 康文军 梁养民



康文军

高级工程师,工程硕士学位,西航工艺处焊研所副所长,主要从事高能束焊接技术研究工作。

电子束焊接技术自上世纪 50 年代诞生以来,以其功率密度高、焊接热输入量小、零件变形小、焊后残余应力小、焊缝深宽比大、焊接接头无氧化、焊缝质量好等特点,广泛应用于航空、航天及原子能等工业领域中。在航空制造业中,电子束焊接技术的应用,大大提高了飞机发动机的制造水平,使发动机中的许多减重设计及异种材料的焊接成为现实,大大提高了发动机的性能和制造水平,同时为许多整体加工难以实现的零件制造提供了一种加工途径。随着现

在航空制造业中,电子束焊接技术的应用,大大提高了飞机发动机的制造水平,使发动机中的许多减重设计及异种材料的焊接成为现实,大大提高了发动机的性能和制造水平,同时为许多整体加工难以实现的零件制造提供了一种加工途径。

代新型发动机研制的需要,电子束焊接在该领域的应用日益广泛,并显示出很大的优越性。

电子束焊接在发动机风扇机匣制造中的应用

在航空发动机低压风扇机匣的制造过程中,为了减轻发动机的重量,新型发动机风扇机匣采用钛合金制造,采用机匣外环与静子叶片电子束焊接的工艺,简化了制造工艺,同时在钛合金的焊接过程中,电子束焊接在真空中进行,完全避免了钛合金在大气中焊接存在的氧化问题,电子束焊接热输入量小,零件变形小,可以实现数控编程一次完成焊接,生产效率高,焊接质量好。采用焊接结构大大减轻了风扇的重量,为了更进一步减重,在保证机匣强度和刚性的情况下,使机匣壁厚减薄。由于机匣焊后其气流通道无法再进行加工,风扇机匣的电子束焊接首先要选择合适的焊接参数,使钛合金材料焊接实现

单面焊双面成形,焊接时不能产生严重的焊接飞溅物,且焊缝背面堆高不能太大,否则会对机匣流道中气体的运动产生影响;然后采用合适的焊接工艺方案及焊接热处理工装,确保零件焊后变形最小;最后编制合理可行的数控程序,完成零件的焊接。采用电子束焊接方法加工的某机一、二、三级机匣使用情况良好。

电子束焊接在压气机制造中的应用

在压气机部件的制造过程中,电子束焊接应用更加广泛。压气机转子一般选材为 GH4169 材料和钛合金材料,其主要特点是转速高,每分钟可达数千或数万转,鼓盘式转子兼有鼓式转子的抗弯刚性和盘式转子的承受大离心载荷的能力,因而被广泛采用,尤其是在现代涡扇发动机的高压压气机上。在不可拆卸的鼓盘式转子上,通常采用圆柱面紧度配合加径向销钉连接和焊接两种方案,机

械连接优点是结构简单,工作可靠,但是转子的零件多,制造偏差会影响转子的定心和平衡,连接处结构要加宽加厚,会增加转子的重量。随着焊接技术的发展,在现代先进发动机中采用焊接式转子的越来越多,焊接转子一般采用电子束焊接和摩擦焊。

焊接的鼓盘式转子不需要连接件,在焊接过程中必须保证组件的同心度和跳动要求,避免了加工和装配环节可能产生的质量不稳定因素,因而有效地减轻了结构重量,提高转子的工作可靠性,但是转子的焊接方法,对焊接技术有很高的要求,必须保证零件的焊缝质量满足验收标准的要求,且焊缝的焊接质量应十分稳定,一条焊缝的质量超差,可能造成整个转子无法使用。转子的电子束焊接,要保证精度高,变形小,无氧化,高强度,低残余应力和质量稳定,这就必须有大型的数控电子束焊接设备和成熟的焊接技术,同时还要靠焊接工装和合理的工艺来保证。

在压气机转子的电子束焊接结构件的制造中,焊接过程中焊缝中易产生气孔缺陷,尤其是钛合金,由于转子件焊接级数较多,加之零件的生产成本较高,因此焊接一般情况下要确保一次成功。由于焊后衬底在探伤前进行了去除,一旦焊缝中出现缺陷(如气孔)通过一次补焊很难彻底消除,转子件焊前应对焊接参数的合理性在模拟件上进行验证,为了防止气孔的产生,焊接接头的衬底上应加工排气槽,接头焊前清洗应十分干净,再根据材料的不同对接头进行相应的化学和机械清理;焊接过程中采用穿透焊接,有利于消除气孔缺陷但要做好焊接飞溅物的防护工作,且焊接热输入较大,零件易变形;采用非穿透焊接,必须将焊接中产生的缺陷尽可能深地引入到焊接衬底中去,随后将衬底去除,无需修饰焊接工艺;为了保证焊缝质量,一般要加厚衬底,并焊成衬底背面微透,这样,就不存在飞溅物烧伤和粘附问题,零件的变形也易控制。由于零件焊接后内部一些形面无法加工,因而转子件对焊后的同心度,焊接收缩量 and 跳动值有非常严格的要求,必需从焊接工艺方法上,焊接及热处理工装上采取措施,防止转子的变形。

为了进一步减轻转子件的结构重量,现代先进的发动机已采用整体叶盘制造技术,根据加工的难易程度和经济性采用整体加工或线性摩擦焊连接盘与叶片,大大减轻了连接处的重量,盘与盘之间的连接采用电子束焊接工艺。该技术在西方国家的军民用飞机发动机压气机转子上已经采用,我国正在加快这方面的技术攻关和研究工作。

电子束焊接在涡轮制造中的应用

在燃气涡轮部分,盘轴采用电子束焊或摩擦焊连接是一种最简单的不可拆卸结构,中间没有连接件,重量最轻。但由于涡轮部分为承力转动件,在工作过程中存在很大的扭转载荷,焊接须确保盘轴的同心度和跳动要求,因此对焊接接头

清楚明了!

Change ro
axes
2 CYCL DEF
WORKING PLAN
CYCL DEF
03 CYCL DEF
04 L B0.0000
107: Rotation
set
108 * - T303
D12.0 F0.0

用于所有切削机床和电火花/线切割机床

使用EROWA工作管理系统,您总能知道工件所在之处。无论工件是在机床上,在料仓中,抑或是在设定站上,一切尽在掌握。当然,同时还兼备在线性和随时性!

生产时间
可提高240%*!

* 与不带EROWA系统的机床相比较

爱路华机电技术(上海)有限公司
上海桂善路69号24号厂房第一、二层
邮编: 200233
电话: 021 6485 5028
传真: 021 6485 0119
电子信箱: info@erowa.cn
网址: www.erowa.cn



EROWA®
系统的解答来自唯一的源泉

广告索引号 08-081

质量要求十分苛刻。国内在某型靶机的发动机中就采用电子束焊接工艺,将 $1Cr11Ni_2W_2MoV$ 材料的涡轮轴和 K418 材料的精铸叶盘焊接为一体。在某型机低压涡轮轴的生产过程中,也曾采用电子束焊接将 GQGH4169 材料的轴连接起来。采用焊接结构件较整体件加工降低了机加工难度,同时节约了材料,经济性好。国外在 RB199 等发动机的高压涡轮部分就采用了电子束焊接结构。盘轴焊接结构,必须考虑不同材料的焊接接头在各种使用工况下的影响,焊接接头的位置尽量放在应力较小、壁厚较薄的位置。

在涡轮导向叶片的制造过程中,由于导向叶片除受到较大的气动力与不稳定的脉动负荷外,还处于高温燃气的包围之中,温度高,冷热变化大,温度不均匀情况很严重,热冲击和热疲劳成为叶片失效的主要原因之一。因此,导向叶片一般做成单个的或两叶、三叶组,便于装配、定位和公差控制,损坏后也易更换。导向叶片的材料为铸造高温合金,材料价格昂贵,这类材料的材质很硬,采用精密铸造,为了增强叶片的冷却效果,提高工作质量,一般做成空心叶片。在 TAY 及 WS9 发动机上,高压涡轮导向叶片均为采用电子束焊接的三叶组结构。叶片缘板的对接焊是典型的变截面焊接,焊接厚度范围在 2~12mm 之间变化,需由同一参数一次完成焊接,且要求焊缝为 III 级,叶片焊缝中易产生裂纹缺陷,尤其是在发动机上工作一段时间后,裂纹的产生与材料中 Al、Ti 及杂质元素的含量较高有关。为了更进一步提高发动机涡轮前工作温度,现代先进发动机已采用许多新型耐受更高温度的材料,如现在某机所用的 Ni_3Al 基的 IC10 材料定向结晶铸造的涡轮导向叶片,其工作温度为 $1100^{\circ}C$,由 TLP 扩散焊焊成两叶组使用。该材料采用熔焊方法易产生焊接裂纹。

电子束焊接 在燃烧室制造中的应用

在发动机燃烧室的加工制造过程中,电子束焊接得到了更多的应用。燃烧室部件是发动机中承受热负荷最大的部件,重量要轻。燃烧室部件易出现故障,危及自身及其他部件。因此对燃烧室部件的制造质量要求较高。在燃烧室机匣的制造中,采用电子束焊接工艺将安装边与钣金件焊接起来,大大节约了材料。现代发动机多采用环形燃烧室结构,其燃烧室内外机匣均采用电子束焊接结构,一般为 GH4169 材料,多为薄壁件,焊接时保证焊缝质量满足验收标准的 I 级要求。电子束焊接完成燃烧室外机匣、前置扩压器和内机匣的连接。在某机机匣内套的生产中,涉及 GH141 材料的电子束焊接,焊后在焊接接头区域发现微裂纹。针对此情况,分析判定其为应变时效裂纹,焊前对 GH141 材料进行时效处理,并从焊接工艺、工装等方面着手,控制焊后应力,解决了焊接裂纹问题。火焰筒的制造大量采用了电子束焊接工艺。实现外壁与头部及帽罩的焊接。由于结构原因,电子束焊接要控制焊接热输入量,防止零件变形,根据零件的具体结构,有些情况下须采用非穿透焊接工艺,防止焊接过程中产生的飞溅物和焊瘤对发动机的使用造成影响。

电子束焊接 在其他组件制造中的应用

液压作动筒在发动机上调节尾喷管的喷口大小,属于发动机上的关键件。在某机液压作动筒的制造过程中,活塞上装有橡胶密封圈,采用电子束焊接将盖和衬筒连接起来。由于液压作动筒壁厚较小,焊接过程中必须严格控制焊接变形,以确保活塞在筒体中的自由往复运动;焊接过程中,零件的温升必须要小,保证

焊接热循环对活塞上的密封圈质量无影响;另外,在保证有效焊接截面完全焊透的情况下筒体中无焊接飞溅物,这就必须从焊接接头的设计上着手解决。在液压作动筒的焊接过程中,必须选择较小的焊接热输入量,采用局部焊透工艺和用铜激冷块带走焊接热量的方法。

发动机传动齿轮制造中,采用电子束焊接方法,将齿轮环与齿轮轴焊接起来,解决了齿轮轴加工过程中插齿、磨齿的难题。齿轮轴焊接过程中,轴和齿环采用过盈装配,气孔是其焊缝中最易产生的缺陷,加大焊接衬底的厚度,并加开放气槽,将焊接产生的气孔尽可能深地引入衬底中,焊后机加工去除,能很好地解决气孔缺陷。另外,应对焊接接头背面的齿轮进行保护,防止焊接残余电子束的击伤。用此方法焊接的某型机 $12Cr2Ni4A$ 材料的传动齿轮,焊缝质量满足验收标准的要求,且焊后齿轮轴的尺寸和跳动符合设计图。

结束语

随着飞机发动机科研生产的需要,西安航空发动机公司近年引进了 3 台进口数控高压真空电子束焊机,真空室尺寸为 $1.5m^3$ 、 $5.5m^3$ 和 $36m^3$,同时对原有的一台 $0.7m^3$ 的德国产电子束焊机进行了大修改造。公司承担着繁重的飞机发动机科研试制和批产任务,主要包括一、二、三级风扇机匣、多种高低压压气机转子、高压涡轮机匣、燃烧室机匣、火焰筒组件等大约 180 多种零件,涉及不锈钢、高温合金及钛合金等许多材料,焊接产品质量稳定,满足了部队装机需要,考核试验未出现焊接质量问题。先后攻克了钛合金材料电子束焊接的气孔问题, GH141 材料焊后的裂纹问题等许多技术难题,焊接技术力量雄厚,为今后我国大型军民飞机发动机研制和批产打下了坚实的基础。(责编 晓霏)