

电子束焊接技术在航天产品中的应用

The Application of Electron Beam Welding Technology in Aerospace Products

首都航天机械公司 张益坤 成志富



张益坤

高级工程师, 致力于特种焊接设备及工艺研究。首都航天机械公司工艺研究所特种焊接工艺技术中心主任, 中国机械工程学会特种焊接技术委员会和中国电工学会“电子束离子束”委员会委员。

电子束焊接技术是应现代工业技术的需求而迅速发展起来的一项焊接新技术。这是因为高技术行业, 尤其是航空、航天业大多要求各种焊接结构具有高强度、低重量和极高的可靠性。电子束焊接本身所固有的某些特点成功地解决了这类结构中的很多关键技术问题。所以在国内外的航空和航天工业中, 电子束焊接

电子束焊接技术是应现代工业技术的需求而迅速发展起来的一项焊接新技术。这是因为高技术行业, 尤其是航空、航天业大多要求各种焊接结构具有高强度、低重量和极高的可靠性。电子束焊接本身所固有的某些特点成功地解决了这类结构中的很多关键技术问题。

已成为最可靠的连接方法之一。其焊接的对象十分广泛, 在控制系统的电子、电器元件、过滤器、波纹管、膜盒、波导管之类的小型、精密零(组)件, 发动机的推力室, 以及弹体的大型承力结构件上都有应用。

电子束焊接的特点

电子束焊接之所以能在航空、宇航工业中获得多方面的应用, 是和这种焊接技术本身所固有的某些特点分不开的。

(1) 功率密度大, 可达 $10^6 \sim 10^9 \text{W/cm}^2$;

(2) 功率密度可调, 这是电子束区别于其他焊接热源的最显著的特点;

(3) 电子束的工作距离可以在很大范围内调节, 可达性好;

(4) 焊缝缺陷少, 易于修复。在苏联航天工业中, 按 OCT92-1114-80 航天器焊接标准规定。焊缝缺陷

可占焊缝长度的 15%, 而实际使用中电子束焊焊缝缺陷仅是焊缝总长度的 1%。如果焊缝内出现缺陷, 只需束流在缺陷部位再焊一次就可将缺陷清除。和 TIG 焊相比, 大大简化了返修程序。

电子束焊接的上述特点, 赋予了它一系列的优点: 加热集中, 热效率高, 热输入小, 可以焊接难熔金属及热敏感性强的金属材料; 焊接变形小, 可对精加工零件进行焊接; 可获得大深宽比焊缝。目前, 制造业都公认电子束焊接可获得低应力、小变形、无缺陷的高质量接头。

电子束焊接在典型航天产品中的应用

宇航技术中所用的各类火箭、卫星、飞船以及空间站等的结构件、发动机, 以及所用的各种仪器都有一些共同特点: 不仅要求零部件质量极其可靠, 能经受各种恶劣环境, 而且

要求零件尺寸小,重量轻,密封性好。这对航天器的结构设计、材料选择及加工工艺都提出了极为苛刻的要求,实践证明电子束焊接作为一种有效的熔焊方法,是解决这些技术难题的有效工艺手段之一。

1 舱外航天服承力结构主体

舱外航天服是航天员执行出舱活动的基本保障系统,而躯干壳体是航天服的重要骨架。作为承力结构主体,躯干壳体对其外形结构尺寸有严格的要求,若采用常规熔化焊接方法,由于焊接变形等因素,易造成尺寸超差。根据躯干结构特点,采用电子束焊接连接门边框与躯干薄壁壳体,可以充分发挥高能束焊接质量高、变形小的优点。

2 火箭发动机燃烧室身部

发动机燃烧室身部采用铜胎上电铸金属与不锈钢焊接结构,焊接难点在于2种焊接金属的物理化学性能差别很大,接头易产生有害杂质偏析,导致在较大的焊接应力下开裂。电铸层如果受高热还会发生电铸层结合削弱、剥离的情况。此外,电铸金属层所带磁性对电子束有很大影响,电子束焊接前零件需整体退磁,电子束路径还需采用磁场屏蔽等手段。

电子束焊接燃烧室身部时使用高压型电子束焊机,采用硬规范焊接,高焊速,尽量减少焊接热量和控制变形,降低接头应力,防止易熔夹层的形成。严格控制焊接热输入量以防止电铸金属层与铜胎之间的电铸结合力因过热而降低,并导致开

裂。

3 钛合金方向舵

弹体部件中方向舵是典型的轻质化、高刚度的复杂结构件,由舵芯和蒙皮组成,材料为钛合金。方向舵焊接后对产品外形有非常严格的要求,焊接过程要严格按筋幅顺序进行正反面编程焊接,控制焊接变形。由于电子束焊接一般在真空中进行,对钛合金焊接有天然良好的保护环境,可以保证焊接接头质量良好。

4 波纹管组合件

波纹管组合件是航天发动机产品中利用电子束焊接的一个主要部分。航天发动机活门一般采用多层金属波纹管作动密封元件,执行指令时,波纹管组合件的动作部分要工作灵活、无卡滞。尤其在液氢温度下可以显示无可比拟的优点。因此,制造过程中必须保证波纹管组件焊缝气密无泄漏和运动付活动灵活,这就要求波纹管组件要有合理的结构和可靠的生产工艺,其中,制造的关键是波纹管的焊接。真空电子束焊接波纹管的接头强度高,可将焊接的变形量减至最小;精密配合的零件不会出现卡滞、抱死情况;焊缝致密、美观,可靠性高。

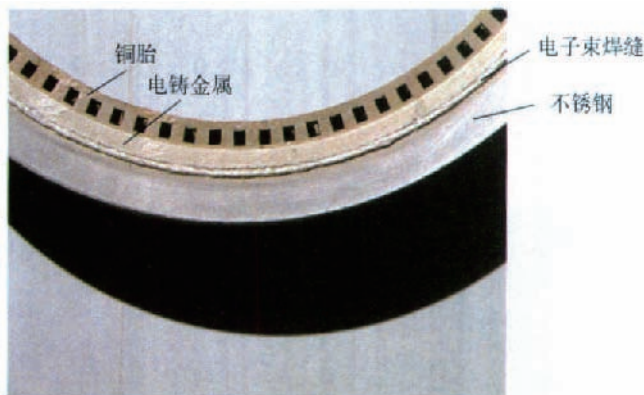
5 火箭推力喷管

新发动机提出了变推力以及多次、长时间执行飞行任务的需求,这对推力室身部结构、内外壁连接强度等方面提出了更高的要求。推力喷管由多筋内壁和薄壳蒙皮组成,其中,长短筋有近200条,焊接时要解决对筋盲焊问题和控制变形,通道不允许堵塞,所有焊

缝不允许有隔断虚连。采用电子束焊接将内外壁逐筋连接焊接,可以解决这些问题。

6 发动机空心长轴

某发动机的空心长轴由7个零件组合焊接而成。空心长轴是发动机的芯轴,工作转速高达20000~30000r/min,如果由于制造原因引起轴的质心不对称,会使轴在高速旋



焊缝局部

转时产生离心力系的不平衡,导致整个系统产生周期性振动,后果是灾难性的,因此对轴的制造精度要求很高。电子束焊接既要发挥焊接变形小的特点,也要兼顾各段焊接时的相互作用干扰,以保证焊接后的整体轴跳动符合要求,必要时可以采用电子束热校形工艺保证轴的同轴度。

结束语

航天器的特殊工作环境和高可靠性要求决定了航天产品必须不断采用一些新材料、特殊结构形式和连接技术。作为高品质连接方法的电子束焊接技术,在科技高精尖的航天领域起到了不可替代的作用。可以说,电子束焊接技术的发展是与航空航天技术发展紧密相联的。电子束焊接技术在过去几十年发展迅速,证明了其在焊接领域的重要作用。电子束焊接技术作为一项系统工程,它的发展还必须把机理研究,工艺、设备研究有机结合起来,发挥整体功能,以使自身更加适应技术竞争。

(责编 淡蓝)



典型波纹管组件