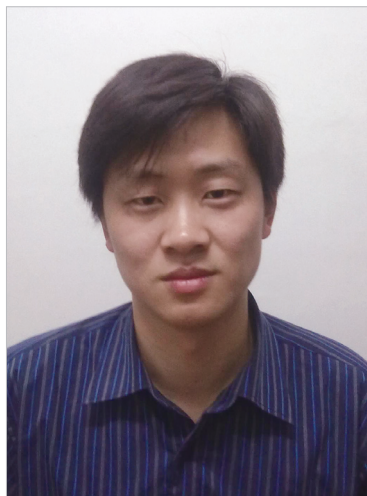


电子束焊在 R0110 重型燃机制造中的应用

Electron Beam Welding Application in the Manufacturing of R0110 Heavy Type Combustion Machine

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 倪建成 曲 伸 任 萍 裴 彤



倪建成

毕业于北京航空航天大学,现就职于中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司技术中心焊接室,从事电子束焊接工作,主持过多种型号发动机、燃机的电子束焊接相关工作。

电子束焊是一种高能束焊接方法,具有特殊的工艺优势,在发达国家应用十分广泛。10多年来,随着我国工业的发展,电子束焊接技术在燃机工业也得到迅速发展,在许多燃机关键零部件制造中得到应用。

真空电子束焊的工艺特点

电子束焊是以高速、密集的电子

束流轰击焊件,将电子的动能迅速转变成热能,熔化焊件金属,从而完成焊接的一种工艺。通过电子枪发射出的电子束形成电子束流,焦点直径一般为0.2~0.6mm,能量密度可达 $10^5\text{W}/\text{cm}^2$,足以使任何金属瞬间汽化。电子束焊接具有以下优点:

束流轰击焊件,将电子的动能迅速转变成热能,熔化焊件金属,从而完成焊接的一种工艺。通过电子枪发射出的电子束形成电子束流,焦点直径一般为0.2~0.6mm,能量密度可达 $10^5\text{W}/\text{cm}^2$,足以使任何金属瞬间汽化。电子束焊接具有以下优点:

(1) 功率密度高,穿透能力强,一次熔深范围广(可达0.5~100mm),焊缝深宽比大(可达50:1)。

(2) 能有效控制焊缝尺寸和熔深。

(3) 在真空状态下焊接,焊缝不氧化且能得到进一步净化,特别适合活泼金属的焊接。

(4) 焊接效率高,接头力学性能高。

(5) 焊接速度快,热影响区小,变形易控制。

(6) 可控制好,对电子束能量和工作状态均可方便而准确地调节

和控制,位置控制精度高,可以实现复杂接缝的自动焊接。

(7) 由于焊后能保持足够高的工件精度,因此可以实现精密件的焊接。

电子束焊在 R0110 重型燃机制造中的应用

R0110 重型燃机是国家 863 重点项目,是解决我国燃机发电和舰船动力的关键性工程,其研制成功与否对国家的经济建设和国防建设有重大的影响。R0110 重型燃机的研制是一项庞大而复杂的系统工程,涉及到许多先进的加工技术和工艺。作为一种先进的焊接联接技术,电子束焊接在航空航天金属材料的联接方面有着巨大的优势和广泛的应用,其在发动机中焊接的比重也在逐年增加。同样,在燃机的制造中也不例外。在 R0110 重型燃机的研制中,电子

束焊接囊括了直径在 2m 左右、各种厚度的零件的焊接。下面通过论述 5~10 级压气机组件的电子束焊接工艺流程,阐述电子束焊在 R0110 重型燃机研制的应用。

1 5~10 级压气机组件的电子束焊接

压气机组件是燃机中重要的承压结构件,工作转速和工作压力较高,承受着巨大的交变载荷。因此,组合件的焊接质量是提高燃机性能的重要因素。

R0110 重型燃机压气机共有 17 级,其中 5~10 级为一整体,需要焊接 6 级压气机盘和 1 级转接盘,共计 6 条焊缝。图 1 为 5~10 级压气机盘示意图。压气机盘材料为 0Cr11Ni2MoVNb,为马氏体型不锈钢,接头设计为带锁底的 I 型对接接头,焊接厚度在 15 ~ 21mm 不等,锁底厚度均为 7mm。焊缝为 I 类焊缝,要求接头强度达到母材强度的 95%。

(1) 退磁。由于电子束流容易受到磁场的影响而发生偏转,因此,对零件的磁场强度要求不大于 1×10^{-4} T。由于压气机盘为马氏体型不锈钢,其内部组织为回火马氏体,具有导磁性,可被磁铁吸引,因此需对压气机盘进行退磁,以消除机械加工、地磁场以及运输过程中对零件的磁性影响。

(2) 焊前清洗。电子束焊对零件焊接面的清洗要求比较高,在焊接

前,必须将焊接表面的油、锈、氧化物以及其他杂质清除干净。先用汽油清洗去除油污,再用丙酮擦洗清理。

(3) 焊前装配。焊接前零件装配精度对电子束焊质量的影响很大。因为焊接面接触部位存在间隙和零件配合过松都会造成焊接变形。所以,要机械加工时应严格控制加工的公差配合,保证零件焊接前装配的精度,确保装配到位。

(4) 焊接。电子束焊接参数的选用直接影响着焊接的质量。焊接参数主要包括加速电压、焊接电流、聚焦电流、速度、枪距、波形、摆动以及频率等,要根据具体情况和相关试验灵活调整。可参照线能量公式 $q=IU/v$ 获得。通过焊接试件,调整焊接参数,选取适当线能量 q ,将焊缝质量好的参数作为焊接参数。

在组合件的焊接时,采用整体组装,一次抽真空,水平横焊接方法。由于采用了一次性整体焊接,减少了装卡和抽真空的次数,提高了焊接的效率,同时减少了焊后热处理的次数,使得热处理变形降低到最小,简化了热处理工艺。由于组合件对焊接变形有严格的要求,所以在焊接过程中着重从以下几个方面加以控制,以获得满意的焊缝。

a. 选择合理的装卡方案。由于是整体装卡,一次完成 6 条焊缝的焊接,所以对工装提出了严格的要求。

随着焊接的进行,组合件的尺寸将会逐步发生变化,尤其是轴向尺寸将逐渐减小,对于后面的焊缝,工装提供的预紧力将逐渐减小,甚至完全消失。所以装卡时,在轴向压紧轴上增加了一定数量的弹簧片,保证在轴向尺寸变化时,依然能够提供足够的预紧力。

b. 控制合理的焊接顺序。焊接时,首先焊接最上面的焊缝,从上而下,直至最下面的焊缝。在焊接时,焊缝能在前几级压气机盘的重力影响下,依然能够保持紧密贴合。

c. 控制各条焊缝起弧的相对位置。焊接时,由于在焊缝搭接处,金属被熔化、冷却、凝固两次,所以对局部的焊接变形有一定影响。焊接时,为每条焊缝的搭接区选择了不同的位置,即将搭接区错开一定的角度,而平均分布在整个圆上,能够避免因焊接变形累计而形成的局部收缩过大。

d. 选择合理的焊接参数。由于 6 条焊缝的焊接厚度不尽相同,在 15~21mm 之间,所以选择适合的焊接参数,能够保证每条焊缝的焊缝宽度、焊接变形、表面成形等不会产生过大的差别。经过前期试验的充分准备,焊接时,加速电压、聚焦电流、速度、枪距、波形、摆动、频率等参数均保持不变,通过调整焊接电流,以适应不同厚度的焊缝。

(5) X 光检查。对于电子束焊缝的检验,一般采用 X 光检查。对于不合格的零件,允许进行电子束补焊,同一位置补焊不能超过两次。

(6) 焊后热处理。由于焊缝及其热影响区发生了复杂的物理、化学变化,其组织成分和性能已发生了改变,所以焊接后一般要通过热处理来改善焊缝及热影响区的组织,从而提高焊接接头的韧性。零件焊接时,由于局部受热,使得焊接后零件产生大量的残余应力,为了保证零件形状和尺寸的长期稳定,在焊接后必须进

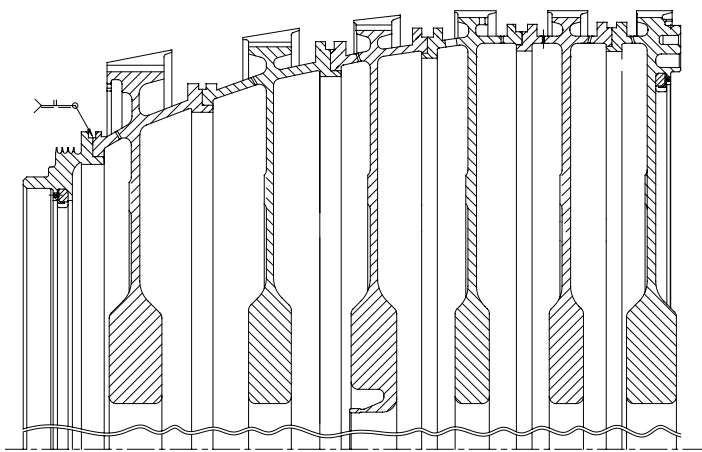


图1 5~10级压气机盘示意图

行热处理,来消除焊缝焊接的残余应力。压气机组件消除应力热处理的温度为 $(620 \pm 10)^\circ\text{C}$,保温时间为7h。

(7)焊后加工。焊接完成后,需要车除焊缝表面余高,进行进一步的着色探伤检查。

经过上述焊接工艺流程,一次性完成了压气机盘的焊接,并且6条焊缝全部X光检查合格,实现了电子束焊接工艺的一次突破。

2 支承轴承座的电子束焊接

支承轴承座是R0110重型燃机中重要的受力部件,材料为0Cr11Ni2MoVNb,为马氏体型不锈钢,接头设计为带锁底的I型对接接头,焊接厚度为50mm,锁底厚度为5mm,其示意图和实物图分别见图2、图3。焊缝为II类焊缝,要求零件能工作在复杂应力条件下或压力大于、等于1MPa条件下,且要保证零件的耐久性。

(1)焊前试验。由于支承轴承座的焊接厚度达到50mm,要保证零件的顺利焊接,必须进行相关的焊前试验准备。

焊前试验的目的主要是确定焊接的参数,同时防止焊接裂纹的产生。焊前试验主要通过调整焊接速度、聚焦电流以及焊接电流来获得满意的焊接参数,同时通过试片的焊接、切割及剖面腐蚀检查来确定焊接参数。

a. 焊接速度的选取。焊接速度的快慢将直接影响到接头的质量。焊接速度过快,会引起焊接熔池凝固快,气体不易排出,容易造成焊接接头内部的气孔缺陷;焊接速度过慢,由于枪距较小(250mm),容易产生电子枪的

放电,从而造成焊缝的凹陷。因此结合以上两方面因素,将焊接速度定在250mm/min。

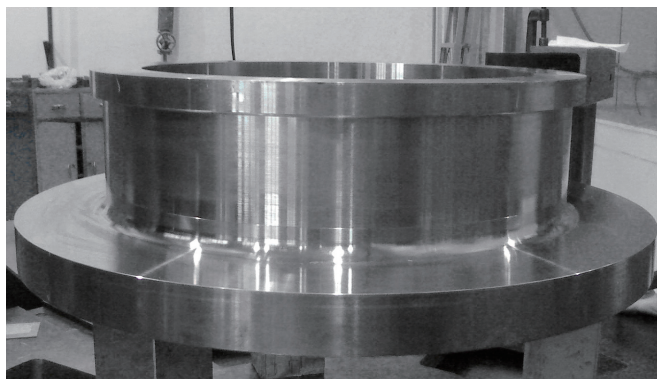


图3 支承轴承座实物图

b. 聚焦电流的调整。通过调整聚焦电流,调整焦点的位置,能够获得较好的焊接接头形状,从而获得满意的焊缝。表1中,通过调整聚焦电流的大小,从而获得了不同的焊缝形貌。

表1 焊接参数

编号	电压/kV	速度 / (mm·min ⁻¹)	频率 /Hz	焊接电流 /mA	聚焦电流 /A	熔深 /mm
1	55	250	120	500	1.95	60
2	55	250	120	500	1.94	64
3	55	250	120	500	1.96	78

c. 焊接电流的调整。通过适当降低焊接的电流,获得需要的焊接熔深。

(2)支承轴承座的焊接。焊接时,采用水平方向焊接,克服了垂直焊接时熔池沸腾液体金属溅出的现象,焊

接过程比较稳定,焊缝成形好,可以有效抑制气孔、裂纹等缺陷的产生,有利于焊接质量的提高,同时焊接变

形小于垂直焊接。

焊接过程中采用了定位焊、封焊、正式焊和修饰焊的顺序。定位焊能够保证零件的上下两部分相对位置的固定,防止焊接时因热变形而

产生相对位移,从而影响零件的精度。封焊采用较小的焊接电流,能够将焊缝表面完全熔合,同时提高了零件的温度,对零件进行了一定程度的预热,可以一定程度上减少正式焊时裂纹产生的可能。正式焊完成后,对

零件进行修饰焊,可以消除零件因焊接产生的表面缺陷,同时使焊缝表面平整、美观。

(3)焊后缓冷。焊接完成后,将零件置于真空室一段时间,使热量不致散失过快,从而能够有效地降低焊缝的冷却速度,使零件的热量分布均匀,有利于接头区晶粒的生长,同时使焊接应力分布均匀,降低因应力分布不均造成的焊接变形。

结束语

由上可见,R0110重型燃机零件的电子束焊接工艺具有独到的优越性,在R0110重型燃机研制中有着重要的推广和应用价值。

(责编 小颖)

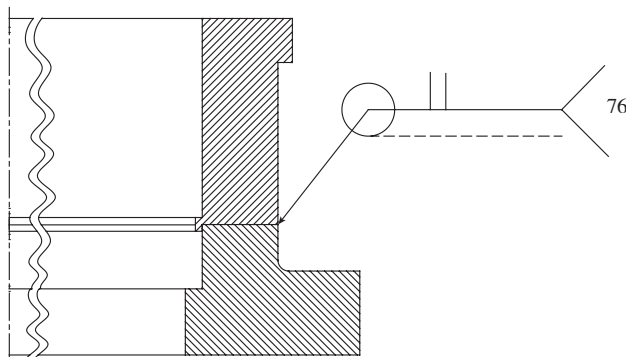


图2 支承轴承座示意图