

基于电子束焊的航空发动机机匣补加工技术研究

Research on Clean-up Machining Technology of Aeroengine Casing Based on Electron Beam Welding

中航工业沈阳发动机设计研究所 李小彪 谷雪花 徐欣 刘平江



李小彪

硕士毕业于西北工业大学,现就职于中航工业沈阳发动机设计研究所,助理工程师,研究方向为机械制造工艺及装备,申请专利 10 项,发表论文 4 篇。

随着现代发动机技术的快速发展,对发动机零件的性能有了更高的要求,作为航空发动机关键部件的机匣类零件,其结构相应变得更加复杂,这给加工制造带来了难度^[1]。实际生产中,因机匣尺寸超差而造成产品报废的问题屡见不鲜,对发动机的

本文以生产中面对的具体问题为例,基于电子束焊的原理及特点,创新性地研究其在航空发动机机匣补加工方面的应用,并对焊接结果进行了分析。

研制进度造成不利的影 响,同时原有机匣经一次试验后就闲置,利用率较低。因此,为降低生产成本、保证生产进度,可切割掉机匣尺寸超差区域,采用焊接的方法,用已有类似机匣的相应部分来代替,以满足使用要求。

本文以生产中面对的具体问题为例,基于电子束焊的原理及特点,创新性地研究其在航空发动机机匣补加工方面的应用,并对焊接结果进行了分析。

问题提出及解决方案

处于加工状态的某型机匣结构如图 1 所示,包括外机匣、整流叶片、内机匣 3 部分。在加工内机匣时,基准 B 尺寸严重超差,造成该机匣无法使用。现有发动机试验后闲置的类

似机匣如图 2 所示,虽然外机匣右端尺寸不一致,但内机匣尺寸、形位公差完全相同。

考虑到零件材料为 1Cr18Ni9Ti,焊接性能良好。为保证生产任务按进度顺利进行,将两机匣按尺寸进行切割,利用焊接方法将已有机匣的相同部分代替正加工机匣的超差部分,如图 3 所示。

焊接方法的选择

电子束焊是一种高能束流的焊接技术,其原理是通过空间定向高速运动的电子束撞击工件表面,将动能转化成热能熔化被焊金属,金属冷却凝固后形成焊缝。如图 4 所示,经加速和汇聚功率密度很高的电子束撞击到零件表面,金属迅速熔化和蒸发形成匙孔,匙孔被液态金属包围。随

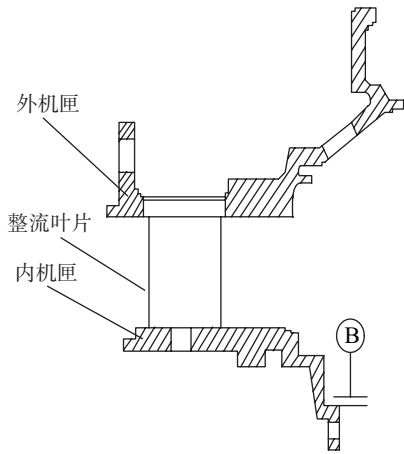


图1 加工超差的机匣结构示意图

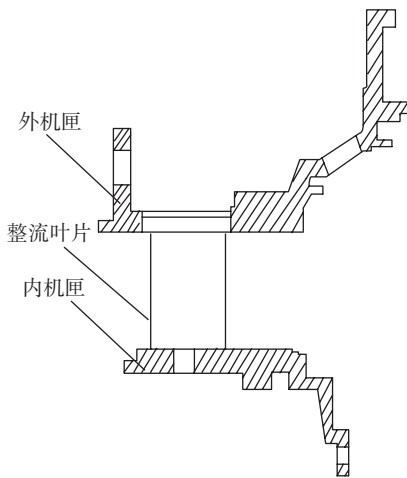


图2 已有的机匣结构示意图

着电子束与工件的相对移动,液态金属沿小孔流向熔池后部,冷却凝固形成焊缝^[2]。

与传统的焊接方法相比,该技术具有独特的优势^[3]:

(1) 功率密度高,穿透能力强,一次熔深范围广,焊缝深宽比大;

(2) 焊接速度快、效率高,热影响区小,变形易控制,接头力学性能高;

(3) 可控性好,能有效控制焊缝尺寸和熔深,同时对电子束能量和工作状态均可方便而准确地调节和控制,可以实现复杂接缝的自动焊接。

因此,选择电子束焊作为机匣补加工的焊接方法。

电子束焊过程实施

1 焊接接头方式的选择

对接头方式提出了普通对接和带止口对接两种方案,如图5所示。普通对接定位需在外机匣内壁上安装定位环,定位环易变形、难安装,且容易将定位环和外机匣焊接在一

起,后期处理麻烦。带止口对接可通过底端的台阶保证径向位置,防止窜动,定位较准确,故选用带止口对接方式。

焊接接头装配精度对焊接变形、

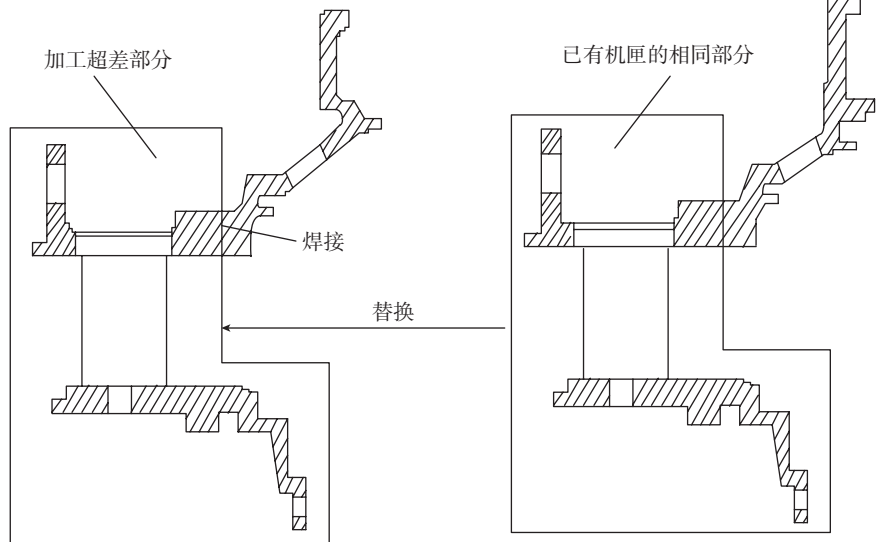


图3 补加工技术解决方案

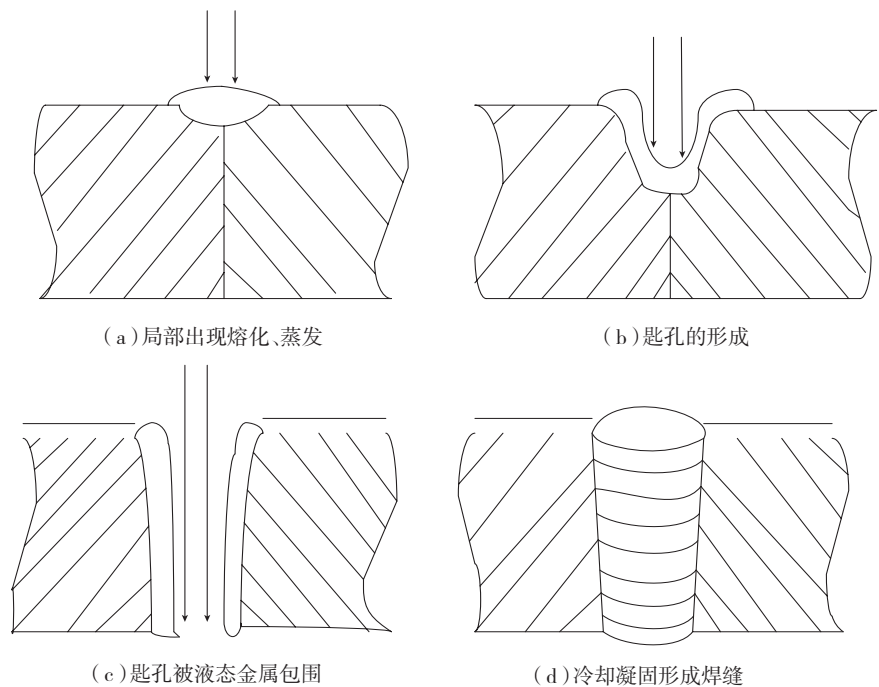
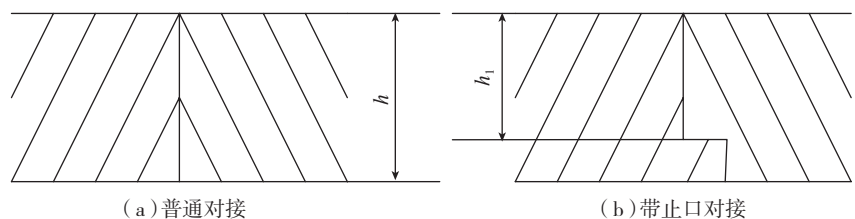
图4 电子束焊接焊缝成形原理^[2]

图5 焊接接头方式

焊缝质量的影响很大,因此采用如图6所示的定位工装。左端为焊接定位底板,右端为焊接定位压盖,二者通过双头螺栓把机匣固定在一起。工装材料采用LY12,该材料易加工,密度小,能保证零件及工装重量不超过电子束焊机的承重范围。

2 焊前预处理

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 $1 \times 10^{-4}T$ 。由于该机匣材料为不锈钢 1Cr18Ni9Ti、工装材料为 LY12,磁场强度弱,不必对机匣及定位工装退磁。

电子束焊对零件焊接面的清洗要求比较高,若焊前清理不干净,会导致焊缝出现杂质、气孔等现象,影响焊接的力学性能。因此在焊接前,针对焊接接头内部及表面区域,先用汽油清洗去除油、锈、氧化物及其他杂质,再用丙酮擦洗清理。

3 焊接参数选择

焊接参数主要包括加速电压、焊接电流、聚焦电流、速度和工作距离等。焊接电流与焊接熔深有关。聚焦电流影响焊接接头形状。因此,为获得高质量的焊缝,必须合理调节焊

表1 焊接工艺参数

加速电压 U/kV	焊接速度 $v/(mm \cdot min^{-1})$	聚焦电流 I_f/mA	电子束流 I_b/mA	工作距离 h/mm
55	500	490	35	150

表2 焊缝性能测试结果

表面质量	抗拉强度 σ_b/MPa	冲击韧度 $a_{kv}/(J \cdot cm^{-2})$	最大气孔尺寸 d/mm
均匀无缺陷	508	210	1.45

接参数^[4]。

参照线能量公式 $q=IU/v$,根据具体情况和相关试验灵活调整焊接速度、聚焦电流以及焊接电流等参数的大小,在试件上进行焊前试验,通过试片的焊接、切割及剖面腐蚀检查,选取焊缝质量好的参数作为焊接参数,如表1所示。

焊接过程中采用了定位焊、封焊、正式焊和修饰焊的顺序。定位焊用于固定零件接口的相对位置,防止零件焊接受热变形产生相对位移。封焊采用较小的焊接电流,对零件进行了固定。修饰焊可以消除零件表面缺陷,保证焊缝表面平整、美观。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,降低焊缝的冷却速度,利于接头区晶粒的生长,降低因应力分布不均造成的焊接变形。

带尖角的气孔及夹杂物,单个气孔最大尺寸为 1.45mm,且气孔间距大于 2 倍的气孔直径,任何 75mm 长焊缝上气孔的最大累积长度小于 7mm,焊缝达到 II 级标准要求。

焊接后经调质处理,焊缝及热影响区的组织得到了有效的改善,焊接接头的韧性得到了提高,同时残余应力得到了释放。经车工车掉焊缝表面余高,满足航空发动机机匣的使用要求。

结论

针对机匣加工超差问题,选用类似的已有闲置机匣,基于电子束焊技术,将超差的部分进行切割、焊接替换。介绍了电子束焊的原理及优势,确定了搭接的接头方式,经焊前预处理,选择了合适的焊接参数。通过焊缝力学性能检查、表面检查、内部探伤,证明焊缝质量达到 II 级要求,满足航空发动机机匣的使用工况。

参考文献

- [1] 范志强.航空发动机机匣包容性理论和试验研究[D].南京:南京航空航天大学,2006.
- [2] 马正斌,刘金合,卢施宇,等.电子束焊接技术研究及进展.电焊机,2012,42(4):93-96.
- [3] 窦政平,谢志强,裴秋生,等.45CrNiMoVA 钢真空电子束焊.焊接学报,2005,26(8):73-76.
- [4] 倪建成,曲伸,任萍,等.电子束焊在 R0110 重型燃机制造中的应用.航空制造技术,2011(8):46-48.

(责编 深蓝)

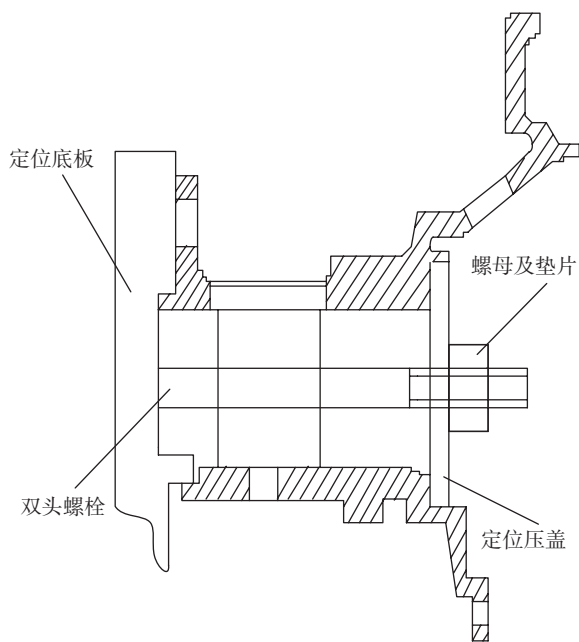


图6 焊接定位工装

结果分析

采用相同焊接工艺及方法进行了试件的焊接,性能测试结果如表2所示。经对试件进行拉伸检测,其抗拉强度达到母材强度的 87%。经观察,焊缝及近缝区的颜色与母材金属相近,焊缝均匀。经 100% 表面着色检查后,在表面未发现裂纹及其他缺陷。接头不存在未焊透、未熔合。经 X 射线探伤检查,接头内部不存在