

新型航空材料及其结构的扩散焊

Diffusion Welding of New Aviation Material and Structure

中航工业北京航空制造工程研究所 郎波 侯金保 滕俊飞 静永娟 张胜



郎波

博士,高级工程师,主要从事扩散焊技术的基础研究与工程化应用工作。先后承担基金、总装预研等科研项目多项,共发表学术论文 20 余篇。

北京航空制造工程研究所扩散焊专业一直以来主要致力于新型航空材料的扩散焊技术研究,并在航空新结构的研制方面积累了丰富的经验。

的制造。TLP 扩散焊工艺由 Daniel F、Paulonic、David S、Duvall 与 William A、Owczarski 三人提出,并于 1972 年获得了美国发明专利。1974 年撰文正式采用了“TLP Bonding”这一提法,并用相图解释了其金属学原理。TLP 扩散焊技术主要用于航空发动机耐高温部件的制造。

北京航空制造工程研究所扩散焊专业一直以来主要致力于新型航空材料的扩散焊技术研究,并在航空新结构的研制方面积累了丰富的经验。

新型航空材料的扩散焊技术

1 单晶高温合金的扩散焊

镍基单晶高温合金具有优异的高温蠕变和疲劳性能,已成为国际上制造先进航空发动机涡轮叶片的首选材料。TLP 扩散焊技术能够实现单晶材料的高性能焊接,已成为单晶材料及其结构焊接的必选技术。

北京航空制造工程研究所针对第一代单晶 DD3 和第二代单晶 N5、DD6、DD32,以及第三代单晶 DD10、DD33 等单晶材料开展了 TLP 扩散焊技术研究。结果表明,单晶 TLP 扩散焊接头由连接区和基体区所组成。当等温凝固过程未完成时,连接区由等温凝固区和快速凝固区组成,而等温凝固区主要由 γ 和 γ' 相组成,快速凝固区主要是由共晶组织组成。当等温凝固完成而固态均匀化过程不充分时,连接区由等温凝固区和分布在接头中心的硼化物相组成。采用“低温等温凝固,高温长时固态均匀化”的焊接工艺可以避免接头内共晶组织与硼化物的产生,从而获得高性能的接头。N5 单晶 TLP 扩散焊接头 980℃ 和 1100℃ 的持久强度均达到了母材强度的 90%, DD32 接头 980℃ 的持久强度可达到母材强度的 89%, DD33 单晶 TLP 扩散焊接头 1120℃ 持久强度达到母材强度的

扩散焊是指在压力、温度、电场等物理场耦合作用下通过母材之间(或中间层与母材之间)的相互扩散而实现连接的一种固相焊接技术,主要包括固相扩散焊和过渡液相扩散焊(Transient Liquid Phase Diffusion Bonding, TLP)。

传统的固相扩散焊技术出现较早,已广泛用于飞机及其发动机部件

85%。

2 金属间化合物的扩散焊

2.1 Ti-Al 化合物

Ti-Al 金属间化合物材料具有轻质、耐温、高温力学性能和抗氧化性能良好的特点,包括 γ -TiAl、 Ti_3Al 和 Ti_2AlNb 合金,可以代替部分传统高温合金,对航空发动机起到结构减重的作用。

北京航空制造工程研究所在 Ti-Al 化合物的固相扩散焊方面开展了大量研究。通过研究界面组织演变、扩散连接工艺和中间层合金设计,获得了高强度的 Ti_3Al/Ti_2AlNb 异质连接接头。接头室温抗拉强度可达 906MPa,且断裂在 Ti_3Al 母材,说明其接头强度与 Ti_3Al 母材相当。

2.2 Ni-Al 化合物

镍铝金属间化合物材料主要用于高性能航空发动机高压涡轮叶片的制造。镍铝金属间化合物材料主要有 Ni_3Al 与 $NiAl$ 两种。

北京航空制造工程研究所在 Ni_3Al 金属间化合物定向合金和单晶的高强度 TLP 扩散焊技术方面开展了研究工作。针对 IC10 合金,自主设计研制了 $KNi1$ 、 $KNi3$ 、 $KNi3A$ 等中间层,并突破了高强度、低溶蚀的 TLP 扩散焊技术。IC10 定向合金 TLP 扩散焊接头 980℃/100h 的持久强度达到了母材强度的 90%。IC10 单晶 TLP 扩散焊接头 1000℃/100h 和 1100℃/100h 的持久强度分别达到了母材强度的 90% 和 86%。

3 氧化物弥散强化合金的扩散焊

氧化物弥散强化(Oxide Dispersion Strengthened 简称 ODS)合金具有高温力学性能好、高温抗氧化和抗腐蚀性能好等优点,可满足航空发动机耐高温、抗腐蚀、抗氧化、抗热疲劳的使用要求。与传统固相扩散焊相比,TLP 扩散焊借助于焊接过程中产生的液相可以降低连接压力,缩短连接时间,且对母材力学性能影响较小,非常适合于 ODS 合金复杂构

件的连接。

北京航空制造工程研究所在 ODS 合金 MGH956 合金高强度 TLP 扩散焊方面,自主设计研制了 $KNi9$ 、 $KNi10$ 、 $KCo3$ 、 $KCo5$ 等中间层。MGH956 合金 TLP 扩散焊接头 1000℃抗拉强度大于 83MPa,达到母材强度的 90% 以上,1100℃抗拉强度大于 56MPa,达到母材 80% 以上。

航空新结构的扩散焊技术

1 液压伺服阀射流盘组件

液压伺服阀射流盘组件是液压控制系统的关键结构。北京航空制造工程研究所利用扩散焊技术将 $Cr12MoV$ 材料多层精密复杂型腔零件焊接成液压伺服阀射流盘组件,实现了液体流动的精密控制和高压液体的防泄露功能,该结构已经实现了工程化应用。

2 空心离心叶轮

先进航空涡轴/涡浆发动机为了满足减重、提升效率的需求,将钛合金离心叶轮设计成空心结构,因此需将离心叶轮盘体先分体成形,然后再进行焊接。北京航空制造工程研究所已突破钛合金固相扩散焊技术,正在开展空心离心叶轮试验件的研制。

3 多孔层板结构

多孔层板结构是一种集合冲击冷却、气膜冷却、对流冷却等方式于一体的高效冷却结构,是发动机高温热端部件的一种高效冷却结构。“十一五”期间北京航空制造工程研究所采用照相电解、TLP 扩散焊等技术研制出多孔层板浮动壁燃烧室试验件,在该构件上实现了层板 TLP 扩散焊强度达到母材 80% 以上,TLP 扩散焊焊合率达到 95% 以上,照相电解尺寸精度 0.05mm 以内,位置精度 0.02mm 以内等技术指标。层板单元冷致试验结果表明,多孔层板结构的冷却效率达到 0.85,同等条件下多孔层板燃烧室火焰筒壁面温度较

常规气膜冷却结构降低 70℃ 以上。

4 涡轮导向叶片组件

北京航空制造工程研究所已将 TLP 扩散焊技术用于某型号发动机 IC10 定向凝固合金高压涡轮导向叶片双联组件与低压涡轮导向叶片双(三)联组件的研制,并通过发动机试车考核。此外,正在开展 IC10 单晶、N5 单晶高压涡轮导向叶片双联组件的工程化应用研究,采用 TLP 扩散焊技术研制出 IC10 单晶高压涡轮导向叶片双联组件模拟件,实现了焊合率达到 95% 以上的技术指标。

5 涡轮分体叶片

为了满足未来高性能航空发动机研制的需求,涡轮叶片已经从多晶材料发展到单晶材料,叶片结构已经从单层壁发展到双层壁,以致叶片整体精铸的工艺难度增大。“十二五”期间北京航空制造工程研究所采用叶片分体铸造,然后焊接面与型面电加工,再将叶片装配进行 TLP 扩散焊的方式开展单晶双层壁涡轮叶片的研制,以降低单晶叶片的铸造工艺难度和制造成本。针对单晶双层壁涡轮分体叶片,已突破单晶材料高性能 TLP 扩散焊、高精度电加工等关键技术,为单晶双层壁涡轮分体叶片的研制奠定了基础。

结 论

(1) 镍基单晶、IC10 合金 TLP 扩散焊接头高温持久强度达到母材的 85% 以上, Ti_3Al/Ti_2AlNb 异质固相扩散焊接头室温拉伸强度与母材相当, MGH956 合金 TLP 扩散焊接头高温拉伸强度达到母材的 80% 以上;

(2) 液压伺服阀射流盘组件、IC10 定向凝固合金高导叶片组件已达到工程化水平,正在进行空心离心叶轮、多孔层板燃烧室、IC10 和 N5 单晶高导叶片组件、单晶双层壁分体涡轮叶片等关重件的扩散焊技术研究。(责编 深蓝)