

KNi10 真空钎焊 ODS 高温合金 MGH956 组织和性能研究

Vacuum Brazing of ODS Superalloy MGH956 by KNi10

中航工业北京航空制造工程研究所航空焊接与连接技术航空科技重点实验室

孙相涛 滕俊飞 侯金保
张胜 张蕾

[摘要] 针对新型 ODS 高温合金 MGH956 开展钎焊工艺研究,采用自制钎料 KNi10 对该材料进行了系统的工艺研究。在焊缝间隙 $20\mu\text{m}$ 、 $1240^\circ\text{C}/10\text{min}$ 的工艺参数下,实现了接头 1000°C 高温拉伸强度达到母材的 90% 左右。

关键词: MGH956 真空钎焊 高温拉伸性能

[ABSTRACT] The vacuum brazing of ODS superalloy MGH956 is investigated by using KNi10 filler metal systematically. The result shows that under $1240^\circ\text{C}/10\text{min}$, when welding line clearance is $20\mu\text{m}$, high temperature tensile strength of welded specimens can reach 90% of the parent metal.

Keywords: MGH956 Vacuum brazing High temperature tensile property

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.11.090

氧化物弥散强化(Oxide Dispersion Strengthened,简称 ODS)合金以其高温抗氧化、高温抗腐蚀、高温抗疲劳以及低的缺口敏感性等多种性能优势,尤其是 1000°C 以上力学性能优于单晶高温材料,成为备受青睐的一类高温合金^[1-2],其中,Fe 基 ODS 合金是目前已有的 ODS 中使用温度最高的材料,可长时间在 1200°C 以上的温度下工作,是航空航天飞行器热端部件(如发动机燃烧室浮动壁、高超飞行器金属热防护系统)的首选材料。采用 MGH956 合金制造的耐高温构件均需用到钎焊技术,因此本文开展对该材料真空钎焊的研究。

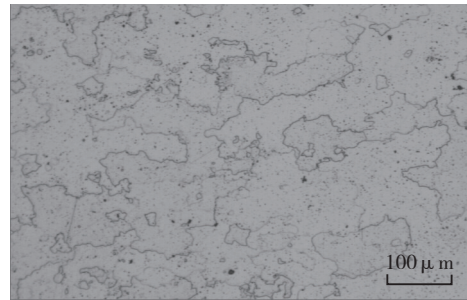
1 试验材料、方法及设备

MGH956 合金为钢铁研究总院近些年研究成熟的一类 ODS 高温合金,该合金采用机械合金化方式制备,基体成分为 Fe-Cr-Al 的固溶体组织,纳米级 Y_2O_3 颗粒作为弥散强化相添加其中, MGH956 合金的化学成分如表 1 所示。该材料为扁平状的盘状晶组织,图 1(a)、(b)分别是平行于和垂直于盘状晶面的晶粒形貌。试验材料的热处理条件是 1350°C 下 4h 时效处理。

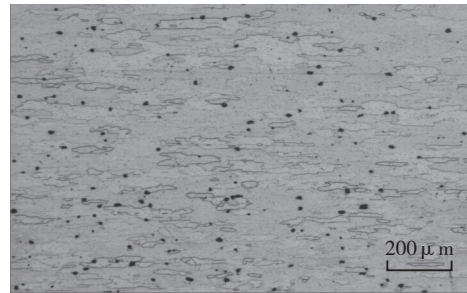
试验用钎料为自制钎料 KNi10,镍基钎料 KNi10 是

表1 MGH956合金成分构成 %

元素	Fe	Cr	Al	Ti	Y_2O_3	C
含量	余量	18.5~21.5	3.75~5.75	0.20~0.60	0.30~0.70	≤ 0.10



(a) 平行方向



(b) 垂直方向

图1 不同方向上MGH956合金的晶粒形貌

Fig.1 Grain morphology of MGH956 alloy at different directions

在 Ni 的基础上加入 Cr、W、Mo、Co、Al、B、Ti、Si 等元素。其中 Ni 是奥氏体主要形成元素,也是强化相 γ' 的形成元素。Co 除了与镍能够形成无限固溶体起固溶强化作用外,其主要作用是提高焊缝的腐蚀性抗力和热疲劳抗力。W、Mo、Cr 为主要的固溶强化相,同时 Cr 还能提高焊缝金属的抗氧化性和抗热腐蚀的能力。Al 是强化相 γ' 的主要形成元素。加入 B、Si 元素主要是降低钎料熔点和提高钎料的流动性和润湿性。元素 Ti 能提高钎料对氧化物的润湿性能,减少焊缝中氧化物的聚集,从而可以提高焊缝接头性能(见图 2)。钎料的熔化温度在 $1150\sim 1200^\circ\text{C}$ 之间。

试验在 VBF-80 真空钎焊炉中进行,钎焊时真空度

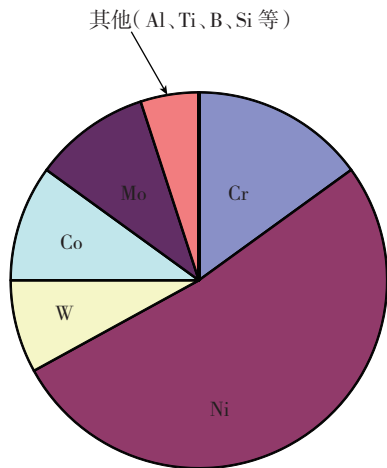


图2 钎料KNi10成分示意图

Fig.2 Diagram of KNi10 solder composition

优于 8.0×10^{-3} Pa, 开展不同钎焊温度和不同焊缝间隙的钎焊试验, 焊缝间隙选择为 $20 \mu\text{m}$ 和 $50 \mu\text{m}$, 焊接温度为 1220°C 、 1240°C 、 1260°C 。

2 试验结果及讨论

2.1 不同钎焊温度的影响

研究发现, 使用钎料 KNi10 在 1240°C 、 1260°C 下进行钎焊时, 在钎料堆积处存在多处气孔, 其最大直径超过 2mm 。分析认为, 这些气孔的形成和母材的材质有关。MGH956 合金采用的是机械合金化的制备方法, 材料中存在着一定量的不溶于合金的惰性气体 Ar。采用 KNi10 钎焊 MGH956 合金时, 钎料熔化后, 随着钎料中降低熔点元素 B、Si 向母材的扩散, 靠近焊缝的母材被溶解, 原来覆盖于母材表面之下的气体被释放出来。释放出的气体在钎料堆积处聚集, 由于高温保温时间短及液态钎料的表面张力作用, 这些气体来不及溢出便形成了气孔。由于是在真空 5×10^{-3} Pa 环境下, 所以微小的气体也会形成气孔。

2.2 不同焊缝间隙的影响

(1) 预置焊缝间隙为 $50 \mu\text{m}$ 。

试验结果显示, 随着焊接温度的升高, 焊缝宽度变宽, 钎料对母材的溶解量增大, 焊缝的成分分布趋于均匀, 升高到 1240°C 和 1260°C 后, 焊缝基体成分与焊缝两侧母材的成分相近。对焊缝基体为 Fe 基的固溶体组织, 在 1220°C 下钎焊的焊缝中, Fe 元素的分布在焊缝两侧高, 焊缝中心低; 在 1240°C 、 1260°C 钎焊的焊缝中, 焊缝基体的成分分布均匀, 达到了与焊缝两侧母材成分一致的水平, 但在 1260°C 下, 焊料对母材的溶解量比 1240°C 大, 溶蚀明显。

在不同的焊接温度下钎焊的焊缝构成相似, 焊缝主

要有:

- 焊缝基体, Fe-Ni 基固溶体组织;
- 焊缝中的中间相, 主要包括两种, 黑色中间相主要成分为 Cr、Fe, 推测为铁铬的化合物相, 并溶解有一定的 Co、Ni、W 等元素; 白色相为细长条状, 该中间相主要为 Cr、Ni、Fe, 并固溶有一定的 Co、Ti 等元素, 推断该化合物为 Ni、Cr、B 的三元化合物或者成分更为复杂的化合物;

- 焊缝中的夹杂。

(2) 预置焊缝间隙为 $20 \mu\text{m}$ 。

在不同的焊接温度下, 预置焊缝间隙为 $20 \mu\text{m}$ 时焊缝形貌无显著差异, 对其进行成分分析可以发现, 即使在 1220°C 下, 焊缝成分分布也达到了与母材接近的水平。与相同温度下、预置焊缝间隙为 $50 \mu\text{m}$ 的焊缝相比, 共同点是: 焊缝均由焊缝基体、中间化合物、夹杂和孔洞构成; 不同点是: 焊缝中有焊缝的孔隙数量相对较少, 焊缝成分分布更均匀, 焊缝中含有较少的中间相, 尤其是白色的低熔点共晶组织。

2.3 钎焊试件的高温拉伸性能测试

对采用钎料 KNi10 钎焊 MGH956 合金的试件进行了 1000°C 高温拉伸性能测试, 焊缝间隙为 $20 \mu\text{m}$, 焊接过程为 $1240^\circ\text{C} / 10\text{min}$, 之后进行 $1000^\circ\text{C} / 30\text{min}$ 的扩散处理, 试验结果如表 2 所示。母材 1000°C 高温拉伸强度为 90MPa , 接头的平均高温强度为母材强度 90% 左右, 接头断裂于焊缝及靠近焊缝的母材。

表2 1000°C 拉伸试验结果

试件编号	试件 1	试件 2	试件 3	平均值
接头强度 /MPa	79	82	78	79.7

3 结论

(1) 采用自制焊料 KNi10 实现了 MGH956 合金的钎焊, 焊缝主要由 Fe 基焊缝基体组织和化合物构成。

(2) 对 MGH956 合金焊缝组织进行了组织观察和分析, 比较焊缝组织认为 1240°C 、 $20 \mu\text{m}$ 是相对合适的参数。

(3) 采用钎料 KNi10 钎焊 MGH956 合金, 实现了接头 1000°C 高温强度达到母材 90% 的性能指标。

参考文献

- [1] 田耘. 高性能航空燃气涡轮动力技术用多孔层板结构 MGH956 合金的研制. 北京: 钢铁研究总院, 2002.
- [2] 曹义, 程海峰, 肖加余, 等. 美国金属热防护系统研究进展. 宇航材料工艺, 2003, 33(3): 9-12.

(责编 一帆)