

热处理对 K403 合金钎焊接头的 γ' 相和性能的影响

Effect of Heat Treatment on γ' Phase and Property of Brazed Joints of K403 Alloy

李大斌¹, 潘 晖², 孙计生²

(1 中国人民解放军第四七二三工厂, 河北 永年 057150;

2 北京航空材料研究院, 北京 100095)

LI Da bing¹, PAN Hui², SUN Ji sheng²

(1 The People's Liberation Army No. 4723 Plant, Yongnian 057150, Hebei, China;

2 Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

摘要: 研究了焊后热处理对 K403 合金大间隙钎接头中 γ' 相与接头性能的影响, 结果表明经扩散处理接头产生 γ' 相, 呈圆形, 其中母材的 γ' 相尺寸最大, 过渡区、钎缝区依次减小; 1200℃固溶处理后 γ' 相呈方形, 但由于固溶处理接头析出高熔点化合物相, 对接头性能不利; 时效处理 γ' 相沉淀析出充分, 形状呈方形, 且时效处理有利于化合物相的扩散。

关键词: γ' 相; 焊后热处理; 钎焊

中图分类号: TG146.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2005)05-0042-03

Abstract: Effect of post brazing heat treatment on γ' phase and property of the wide gap brazed joints of K403 alloy was investigated. The results showed that there were γ' phases in the joint after diffusion treatment, and they were round. The sizes of γ' phases were larger in the base metal, and they became smaller from transition area to the brazing seam. After solid solution treatment at 1200℃, the γ' phases became square, but it was unfavorable to property of the joints because new compound appeared. After aging treatment, γ' phases were square and deposited sufficiently, and it was favorable to compound diffusion.

Key words: γ' phase; post brazing treatment; brazing

随着航空事业的不断发展, 对铸造高温合金的钎焊接头性能要求越来越高。其主要表现在两个方面: 一方面涡轮进口温度不断提高, 镍基高温合金母材也随之不断发展, 从变形合金、铸造高温合金、定向凝固合金至单晶合金, 并开始使用 γ' 相达 80% 的 Ni_3Al 基合金 IC6, 次生 γ' 相沉淀温度高达 1300℃, 合金初熔温度高达 1315℃, 使用温度高达 1150℃, 要求钎焊接头性能不断提高; 另一方面, 叶片形状逐渐复杂, 钎焊部位不单纯在叶端, 为节约成本, 发展了叶片补焊技术, 钎焊部位发展至叶身。这些都要求钎焊接头有较好的高温性能。

钎焊接头中钎焊间隙大于 0.2mm 的称为大间隙钎焊接头, 由于铸造等加工误差的存在, 实际叶片生产过程中钎焊接头往往是大间隙钎焊接头, 叶片修复时钎焊接头间隙更大。

铸造高温合金的主要强化相为 γ' 相, 为获得与母材性能接近的钎焊接头, 需尽量提高钎接头中 Al,

Ti 等形成 γ' 相的元素含量, 为此可通过长时间的扩散, 也可以通过加入含 Al, Ti 的合金粉。

本工作主要研究钎焊后, 经扩散处理及热处理接头中的 γ' 相与接头性能。

1 实验材料与设备

1.1 实验材料

实验用母材为铸态 K403 合金, 钎料为 N300 粉末 (-300 目), 合金粉 René95(-140 目), 其成分见表 1。

1.2 实验设备

钎焊与热处理采用可自动控温的真空炉, 最高使用温度 1300℃, 真空度 1×10^{-2} Pa。接头分析采用 JSM5600LV 扫描电镜。

1.3 实验方法

铸态母材表面磨平后采用储能点焊机定位, 间隙为 0.25mm, 钎缝中预填合金粉后进行钎焊。钎焊与热处理工艺为: 扩散处理 A(1180℃×32h/FC)、固溶

表 1 实验用母材、钎料与合金粉成分(质量分数/%)

Table 1 Chemical composition of base metal, filler metal, alloy power for test(mass fraction/ %)

Material	Cr	Co	W	Mo	Nb	Al	Ti	B	Zr	C	Ni	Si	Fe
K403	11	5.2	5.2	4.2	—	5.5	2.6	0.017	0.05	0.14	Bal	—	—
René 95	14	8	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	0.01	0.05	0.15	Bal	—	—
N300	25	Bal	—	—	—	—	—	3.0	—	0.75	17	2.75	2.0

处理 B (A+ 1200℃ × 4h/AC) 和时效处理 C (B+ 870℃ × 1h/AC+ 650℃ × 24h/AC)。各状态接头剖面腐蚀后进行扫描电镜分析, 并进行接头力学性能测试。

2 实验结果与分析

2.1 扩散及热处理后接头组织研究

2.1.1 扩散处理后接头组织

钎焊接头经 1180℃ × 32h 长时间扩散后组织示于图 1, 可见接头组织由母材、过渡区和钎缝组织构成。经长时间扩散处理, 钎缝组织由固溶体和分布于晶界的少量块状化合物相构成, 花纹状硼化物已消失(图 1a)。由腐蚀后二次电子像可见, 合金粉颗粒晶界比较清晰(图 1b), 晶界处未产生小的块状 γ' 相, 近钎缝的母材有针状硼化物析出。

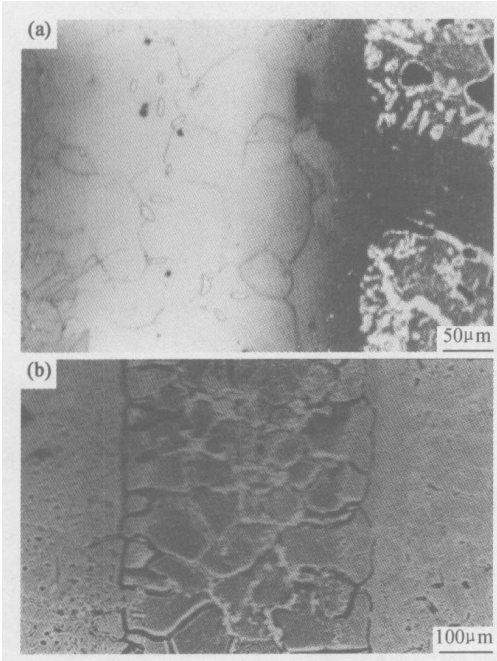


图 1 钎焊接头组织 (a) 背散射像; (b) 二次电子像
Fig. 1 Microstructure of the joint (a) BSE image; (b) SEI image

2.1.2 扩散处理后接头中的 γ' 相

钎焊接头经 1180℃ × 32h 长时间扩散后炉冷, 钎缝中产生 γ' 相, 且主要分布于合金粉的颗粒中。接头中 γ' 相大小及形态示于图 2, 母材处 γ' 相较大, 过渡区次之, 钎缝中最小。母材枝晶干处 γ' 相约 1 μm, 与铸

造状态大小相当^[1]。接头中 γ' 相形状不规则, 多呈球形, 大小不均匀, 析出不充分。

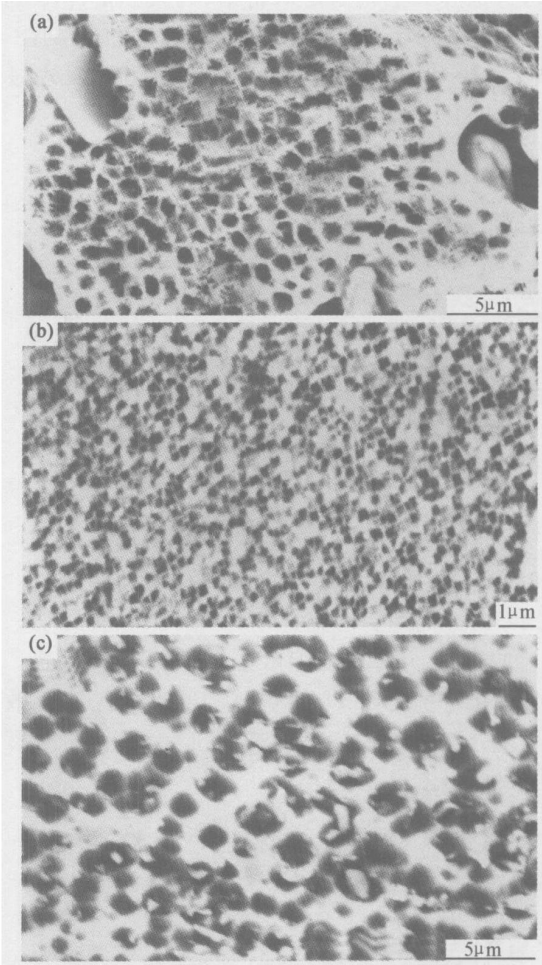


图 2 钎焊接头 γ' 相 (a) 钎缝; (b) 过渡区; (c) 母材
Fig. 2 γ' phases of joint (a) in seam; (b) in transition; (c) in base metal

钎缝中由于加入 René 95 粉, 同时 Al, Ti 等元素的扩散, 使得其中含有 Al, Ti, Nb, W 等形成 γ' 相的元素, 因此冷却时析出 γ' 相。

扩散处理后接头的 γ' 相有重新析出的 γ' 相和残留 γ' 相两种。新析出的 γ' 相大小与 γ' 形成因子有关, 同时与冷却速度有关, γ' 形成因子高的合金开始析出 γ' 相温度高, 易长大; 冷却速度大, γ' 相细小。母材 K403 为铸造高温合金, Al, Ti, W 含量高, γ' 形成因子大, 枝干区 γ' 相固溶温度 1180℃, 枝间区的 γ' 相固溶

温度 1210℃^[2], 因此 1180℃扩散处理时枝干区 γ' 相固溶, 冷却时重新析出, 其大小与铸态相当, 同时发现枝干区的 γ' 相不会溶解, 并随时间延长而长大。过渡区与钎缝区 γ' 形成因子渐小, 因此 γ' 相大小递减。

2. 1. 3 固溶处理后接头中的 γ' 相

接头母材、过渡区及钎缝扩散后经 1200℃×4h 固溶处理, γ' 相呈方形、大小与扩散处理时相当, 但略小一些, 这是由于 γ' 相固溶后析出, 其大小由冷却速度决定, 固溶处理后空冷, 冷速大于炉冷, 因此略小。母材枝干的 γ' 相示于图 3, 呈方形, 大小比扩散处理时母材处 γ' 相略小。

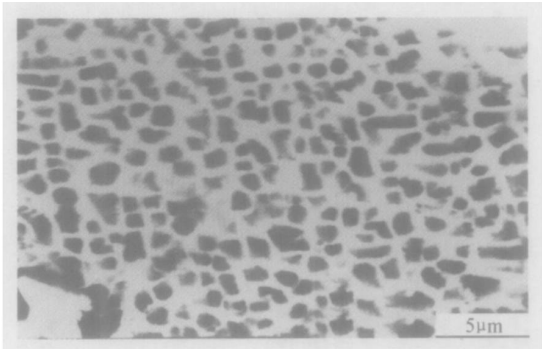


图 3 固溶处理后接头母材 γ' 相
Fig. 3 γ' phases in base metal after solid solution

2. 1. 4 时效处理后接头中的 γ' 相

图 4 所示为时效处理后接头母材 γ' 相形貌。可见, 钎焊接头过渡区及钎缝区与母材处相似, 经扩散处理、固溶处理及时效处理后 γ' 相沉淀析出充分, 形状较为规则, 呈方形, 数量略多。

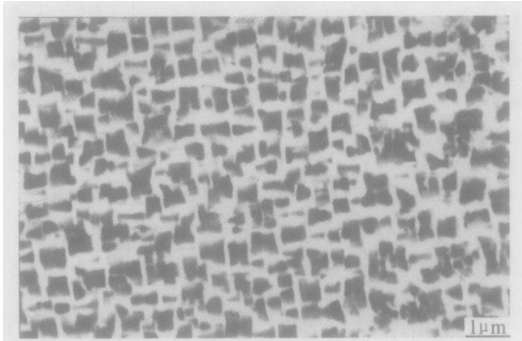


图 4 时效处理后接头母材 γ' 相
Fig. 4 γ' phases in base metal after aging treatment

2. 2 接头性能

扩散处理、固溶处理及时效处理后, 接头在 975℃下先加载 137MPa, 当寿命超过 50h 后, 再加载至 147MPa, 直至试样断裂, 实验结果见表 2。

由表 2 可见固溶处理对接头性能不利。固溶后经

时效处理, 接头性能回升。

表 2 接头持久性能

Table 2 Permanent property of joints

Treatment processing	Permanent life/h: min	Rupture position
A	166: 00	Brazing seam
	113: 00	Brazing seam
B	70: 05	Brazing seam
	68: 30	Base metal
C	124: 00	Brazing seam

固溶处理后接头组织示于图 5, 与图 1a 相比点状化合物相增多, 部分连续分布, 因此接头性能下降。主要由于温度升高, 钎缝中重新析出高熔点 $M_2M'B_2$ 化合物相, 且保温时间短, 未充分扩散掉。经长期时效处理, 接头化合物相减少, 因此性能提高。

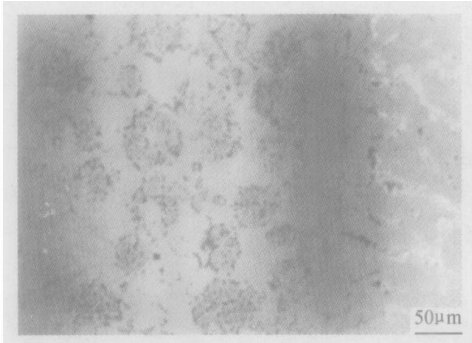


图 5 固溶处理后钎焊接头背散射像
Fig. 5 BSE image of joint after solid solution

3 结论

- (1) 预填 René 95 合金粉的钎焊接头经扩散处理, 产生 γ' 相, 呈圆形, 其中母材的 γ' 相最大, 过渡区、钎缝区依次减小。
- (2) 1200℃固溶处理后 γ' 相呈方形, 但由于温度升高, 析出高熔点化合物相, 对接头性能不利。
- (3) 时效处理 γ' 相沉淀析出充分, 形状呈方形, 且有利于化合物相的扩散。

参考文献

[1] 穆寿涛. K3 镍基高温合金的应用研究[M]. 北京: 第六二一研究所出版社, 1982. 95- 96.
[2] 郑运荣, 张德堂. 高温合金与钢的彩色金相研究[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 149- 150.

收稿日期: 2005-03-28; 修订日期: 2005-04-13
作者简介: 李大斌(1969-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事航空发动机翻修的技术工作, 联系地址: 河北省永年县中国人民解放军第四七二三厂二车间(057150)。