

热等静压温度对 FGH96 粉末高温合金显微组织的影响

王旭青, 罗学军, 邹金文

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘要: 热等静压工艺在飞机发动机粉末盘的研制中是一个关键热工艺, 对粉末高温合金盘件的组织、性能起重要作用。选择 4 种热等静压温度, 对不同热等静压工艺后的组织进行研究。实验结果表明, 提高热等静压温度可以促进消除残余枝晶, 促进基体再结晶及再结晶晶粒长大, 促进一次 γ' 相溶解和二次 γ' 相形核和长大。

关键词: 热等静压; FGH96 粉末高温合金; 显微组织

中图分类号: TG132.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-5053(2006)03-0293-02

FGH96 粉末高温合金是一种高合金化的 γ' 相沉淀强化型镍基高温合金, γ' 体积含量可达 30% ~ 35%, 是目前制造高性能发动机热端转子部件的首选材料。现阶段, 国内采用等离子旋转电极 (PREP) 工艺制取 FGH96 预合金粉末。该工艺制得的预合金粉末的特点是工艺性能好, 但存在粉末颗粒偏大, 粉末上的枝晶数量较多的问题^[1]。FGH96 合金采用热等静压 (HIP) 后等温锻造的成型工艺。热等静压温度过低易造成再结晶不充分, 残余枝晶过多等问题, 不利于后续锻造工艺的组织控制; 温度过高, 造成晶粒和 γ' 相过分长大, 不利于固溶处理组织控制。本实验研究热等静压温度对 PREP FGH96 粉末高温合金锭显微组织的影响, 希望通过调整热等静压温度得到均匀的显微组织, 为后续工艺做好组织准备。

1 实验方法

采用小于 105 μm 的 PREP 法, FGH96 高温合金粉末经过除气、装包套、封焊和预热处理 (该工艺可以有效消除粉末原始颗粒边界), 最后热等静压成型为 $\phi 70\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的试验锭。试验锭经机加工去掉包套后, 切取小块试样做组织分析。设计了 1150/1170/1190 和 1210 $^{\circ}\text{C}$ /3h/130 MPa 的热等静压工艺。

2 试验结果

2.1 热等静压温度对残余枝晶的影响

随着热等静压温度的提高, 试验锭中的残余枝

晶晶干间距加大, 枝晶数量显著减少, 当温度上升到 1170 $^{\circ}\text{C}$ 时残余枝晶全部消除干净。

2.2 热等静压温度对晶粒的影响

从图 1 中看到, 1150 $^{\circ}\text{C}$ HIP 组织是细小再结晶晶粒与原始较大尺寸晶粒的混合组织。相当于 ASTM 8-9 级的再结晶晶粒多分布在较大粉末颗粒之间, 数量少。大多数晶粒是原始晶粒, 晶粒内部存在明显枝晶。热等静压温度提高一方面促进组织再结晶形核, 使再结晶比例显著提高。另一方面促进再结晶晶粒长大, 使再结晶晶粒与原始晶粒的尺寸差距缩小。

2.3 热等静压温度对 γ' 相的影响

图 2 中显示, 不同热等静压温度后的显微组织中均含有两种 γ' 相, 分别是晶界大 γ' 相和晶内小 γ' 相。随着热等静压温度的升高, 小 γ' 相呈现方形, 并聚集长大。在 1170 $^{\circ}\text{C}$ 下, 大 γ' 相明显长大, 而在 1190 和 1210 $^{\circ}\text{C}$ 时, 晶界 γ' 相减小。

3 结果分析与讨论

由于在 1150 $^{\circ}\text{C}$ 热等静压温度时, 外界给予粉末的变形能量较小, 不足以产生充分的形变再结晶。此时粉末与粉末之间的变形量相对较大, 那些填充于大颗粒间的小粉末颗粒受到较大变形力, 又由于枝晶本就较大颗粒细小, 而首先发生再结晶, 消除了枝晶。因而再结晶晶粒集中于粉末颗粒之间交界处, 数量少而尺寸细小。热等静压温度上升到 1170 $^{\circ}\text{C}$ 时, 温度提高使扩散系数提高, 枝晶间和枝晶干的成分偏析通过扩散逐渐减小, 从而残余枝晶减少, 再结晶区域增加了, 较大的再结晶晶粒利用界面能的差异向较小晶粒扩张^[2], 晶粒逐渐长大。并通过再结晶晶粒的吞噬长大, 晶粒度趋于均匀。

收稿日期: 2006-02-19; 修订日期: 2006-03-23

作者简介: 王旭青 (1973-), 女, 工程师, 主要从事粉末高温合金研究。

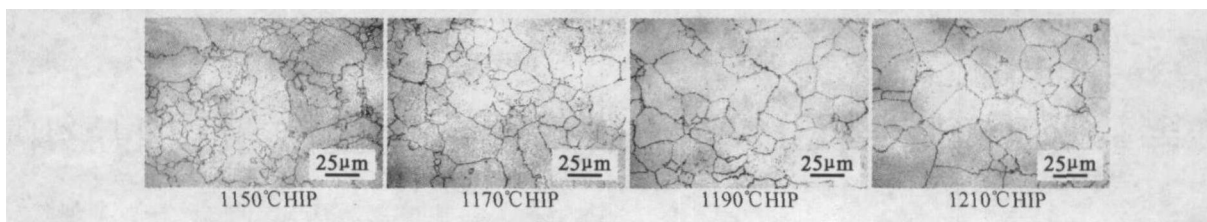
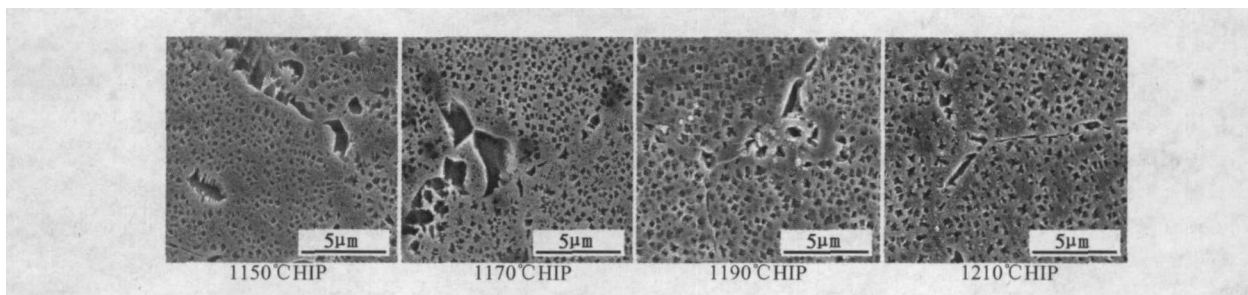


图 1 热等静压温度对晶粒度的影响

Fig 1 Effects of HIP temperature on grain size

图 2 热等静压温度对 γ' 相的影响Fig 2 Effects of HIP temperature on γ'

FGH96合金在 1150°C热等静压后, 仍然有少部分大尺寸一次 γ' 相残留, 在 1170°C的热等静压中长大。大部分一次 γ' 相溶解, 而在热等静压冷却过程中析出二次 γ' 相并存在于晶内。二次 γ' 相随温度提高以低错配度呈方形析出, 缓冷给 γ' 相充足的长大时间, 长大到一定程度时, 4个这样的 γ' 相逐渐向中心聚集, 形成规则的“田”字形 γ' 相。

4 结 论

提高热等静压温度可以促进 FGH96合金消除

残余枝晶, 促进再结晶及再结晶晶粒长大。到 1190°C时, 枝晶完全消除, 再结晶组织较为均匀; 可以促进一次 γ' 相溶解和二次 γ' 相形核和长大。在超过 γ' 相固溶线约 40°C的热等静压后缓慢冷却的情况下, γ' 相以低错配度呈方形析出, 形成规则的“田”字形 γ' 相。

参考文献:

- [1] 王旭春. FGH96高温合金粉末显微组织及夹杂分析 [J]. 粉末冶金技术, 2001, 19(2): 70-71.
- [2] 毛卫民, 赵新兵. 金属的再结晶与晶粒长大 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.

Effects of HIP Temperature on Microstructure of FGH96 Superalloy

WANG Xu-qing LUO Xue-jun, ZOU Jin-wen

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

Abstract The temperature of hot isostatic pressing (HIP) is a very important parameter for PM superalloy. The effects of HIP temperature on microstructure of FGH96 superalloy were studied. The results showed that remained dendrites were removed by higher HIP temperature. Recrystallization was promoted and grain size was increased with increasing temperature of HIP. Original γ' were dissolved effectively and cooling γ' grew with higher HIP temperature.

Key words HIP, FGH96 superalloy, microstructure