

# Ni<sub>3</sub>Al 基高温合金添加碳化物质点的探索研究

Study on Ni<sub>3</sub>Al Based High Temperature Alloy Mix Particle of Carbonide

马 生 谭永宁 李逊华 (北京航空材料研究院)

Ma Sheng Tan Yongning Li Xunhua  
(Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 在较成熟的 Ni<sub>3</sub>Al 基高温合金 (Ni-14Mo-7.8Al-0.5B, 简称 IC6 合金) 成分的基础上, 探索研究了用特殊的方法添加 TiC 质点的工艺方法, 并观察其组织变化及 TiC 质点的分布特征。结果表明, 通过对工艺及合金成分的调整, TiC 质点能够均匀地分布在 IC6 合金的组织中, 这为提高 IC6 合金的性能提供了可能性, 同时还讨论了工艺实施过程中所暴露出的主要问题。

关键词 镍基高温合金 碳化物质点

[Abstract] The Process on Ni<sub>3</sub>Al based high temperature alloy (IC6 alloy) mix TiC particle used for special method was studied, and obseved the variations of structure, characteristic of distribution of TiC particle. The results show that process and structure was regulated, it can make TiC particle even variate in structure of IC6 alloy, improve property of IC6 alloy become possible. The main problem of process was discussed.

Keywords Ni based high temperature alloy particle of carbonide

## 1 前言

作为高温结构材料, 镍基高温合金在过去50年中得到了迅速的发展, 使用温度也不断提高。近几年来对有序金属间化合物的研究, 也有了突破性进展。我们也研制了作为高温合金基体的 IC6Ni-14Mo-7.8Al-0.5B 合金。IC6 合金有一些固有的优点, 如熔点较高 (1350 ) ; 比重较小; 抗氧化性能好; 原子扩散率低等, 从而在中温和高温下的强度高于普通镍基合金。但是单相的 Ni<sub>3</sub>Al 强度不可能很高。因此第二相强化在发展 Ni<sub>3</sub>Al 基合金中是必不可少的。对于 IC6 合金, 第二相的引入可有三种方法, 一是通过调整 Ni/Al 的比例, 用原位生长的方法引入  $\gamma'$  镍固溶相或  $\beta$ -NiAl 相; 二是加入一些合金元素, 在合金中形成第二相, 如碳化物, 硼化物等; 第三种是采用一些特殊的工艺方法加入现存的第二相质点或纤维, 如 TiC、HfC、TiB<sub>2</sub> 等。前两种方法有人已经做了大量实验工作, 并取得了一定的进展, 而第三种方法在国内外尚无任何报导。本文采用第三种方法, 并选用 TiC 质点, 采取特殊的工艺添加到 IC6 合金中, 以期能改善 IC6 合金的微观组织结构, 形成理想的第二相, 从而使其强度能有较大的提高。

的粒度 5  $\mu$ m, 工艺流程如下。

## 2 试验用材料及方法

### 2.1 TiC 质点的选用

TiC 有一些特殊的优点: 比重小, 熔点高, 硬度大, 物理润湿性和化学吸附性比较好, 特别是它有多余的价电子, 容易与 IC6 合金中的金属元素形成化学键的作用, 所以选择了 TiC 质点。

### 2.2 化学成分

实验用材料, 采用三种不同的成分方案加入 TiC 质点, 见表1。

表 1 合金的化学成分 (wt %)

元 素 号	Al	Mo	B	TiC	Nb	Ta	Er	Ni
A	7.8	14	0.05	6.0	0.6	3.4	0.25	余
B	7.8	14	0.05	6.0	0.6	3.4	-	余
C	7.8	14	0.05	6.0	-	-	-	余

### 2.3 工艺流程

表1中的合金元素, 全部采用粉料, 其中 TiC 质点

热处理制度是在真空状态下, 1260℃, 保温10h, 然后油冷。

处理后的试棒做显微组织观察并测试其力学性能。

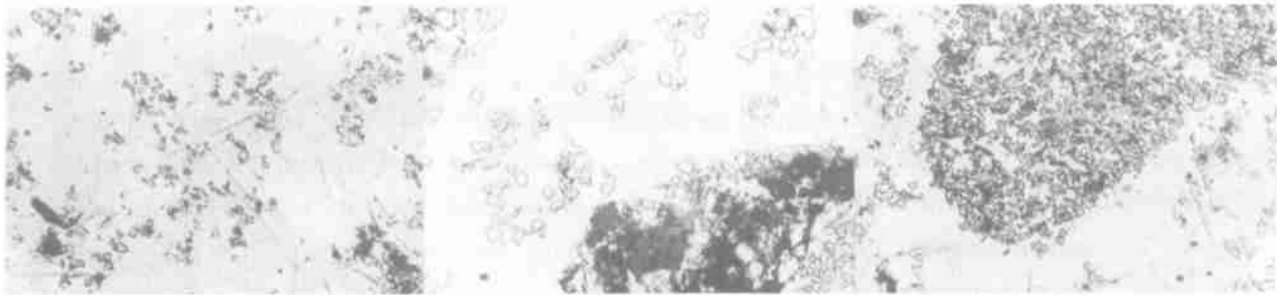
3 实验结果及讨论

3.1 TiC 质点在组织中的分布

从图1可以看出, TiC 作为第二相分布于组织中, 说明 TiC 质点确实加进了 IC6合金中, 在低倍显微镜下总

体看, TiC 的分布较为均匀, 与基体的相容性也比较好, 特别是 A 炉号在其组织中, TiC 的分布比 B、C 炉号均匀, 这可能与稀土元素的加入有关。另外值得注意的是 TiC 质点较多地接近结晶核心, 而不是偏聚晶界, 这对于质点的弥散强化有利。

从图1还可以看出, 加入的 TiC 质点的尺寸还比较小, 形状有粒状和针状, 这种细小的、分布均匀的第二



(a) A 炉    (b) B 炉    (c) C 炉  
图 1 A、B、C 炉号合金的显微组织

相质点对合金的性能有利。

在本探索研究之初, 曾设想过在 IC6合金中加入 TiC 强化质点能获得理想的微观模型, 这种模型是这样的: 金属键与非金属键的适度结合, TiC 溶于合金元素中, 并在 IC6合金中弥散分布, 因为质点较细小, 增加了化学吸附作用, 与金属基体之间不但存在一般的物理润湿, 而且由于 TiC 质点带有自由电子, 所以与合金的基体之间有化学键的作用, 并可能有部分的共格关系。从上述初步结果来看, 是有可能达到所设想的组织模型的, 预计上述含有均匀分布的细小 TiC 质点的组织状态, 能够适当地提高 IC6合金的强度。

3.2 工艺上暴露的主要问题

3.2.1 气体喷溅

气体喷溅是采用以上工艺所出现的一个最主要的问题, 表现在合金经真空烧结、真空自耗熔炼, 直到真空感应熔炼时, 仍有大量的气泡喷溅, 而且浇入精铸壳型之后, 仍有气泡冒出; 不同材质的坩埚, 如 MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 水冷铜坩埚, 它们喷溅的程度都差不多, 甚至在感应熔炼中, 在通入大量的氩气保护状态下, 化清后仍有气体喷溅现象, 从以上的分析可知, 气体的来源和喷

溅现象是很复杂的, 需要进一步探索。

3.2.2 TiC 质点分布均匀性问题

从图1中的炉号 B 和 C 中可看出, TiC 质点的分布是不够均匀的, 这可能与以上的工艺有关系, 在冶炼过程中加强电磁搅拌估计会有所改善, 最可能的是与气体喷溅有关, 因为气体喷溅导致了结晶过程中液体的流动性增大, 造成了 TiC 质点堆积。因此, 只有在解决了气体喷溅问题的基础上, 才能得到更均匀的质点分布, 形成理想的显微组织。

4 结论

以上的探索研究基本上达到了目的, TiC 质点作为 IC6合金的第二相, 的确能够用以上的工艺方法加入到 Ni<sub>3</sub>Al 的组织中, 形成均匀的分布。由于这种材料存在金属和非金属化学键的作用, 所以能够起到强化  $\gamma$  的目的, 从而提高 IC6合金的高温强度。

熔炼中的气体喷溅现象是今后要继续研究的问题, 首先应找出气体的来源, 而后做进一步的探索实验, 且不只限于铸造方法。