

TiB₂ 质点强化 NiAl 基合金的组织 and 性能

The Microstructure and Properties of the
TiB₂-Particle Strengthened NiAl-based Alloy

赵希宏, 谭永宁, 余 乾 (北京航空材料研究院, 北京 100095)
ZHAO Xi-hong, TAN Yong-ning, YU Qian
(Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

摘要: 研究了铸造方法制备 TiB₂ 质点强化 NiAl 基合金的组织, TiB₂ 质点是在浇注过程中按化学计量加入 Ti 和 B 元素一次反应生成的。研究发现, TiB₂ 质点在基体中的分布与试样的状态有关, 且在各相中呈不同形状。质点和界面结合较差, 没有取向关系。均匀细小的 TiB₂ 质点可以提高 800 ℃ 的中温性能, 但对超过 1000 ℃ 的高温性能无明显影响。

关键词: 质点强化; NiAl 基合金; 组织; 性能

中图分类号: TG113.12; TQ132.3⁺2 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 (2001) 06-0024-03

Abstract: The microstructure and properties of the TiB₂-particle strengthened NiAl-based alloy were discussed. The particles of TiB₂ were generated in one step during pouring process by the addition of B and Ti according to the stoichiometry. It is discovered that the distribution of TiB₂ particles is related to the heat treatment of the material and the phases appearing in the alloy. The shapes of the particles existing in each phase are different. The particles and the matrix are badly connected on their interface and there is no orientation relationship between them.

Key words: particle strengthening; NiAl base alloy; structure; property

由于 NiAl 金属间化合物具有熔点高 (1640 ℃)、密度低、抗氧化性能好、热导率高等优点, 引起了国内外材料学者的关注^[1~3], 是未来有希望的高温结构替代材料。但由于它存在着两个弱点, 即一是室温塑性差; 二是高温强度低, 严重地影响了他们的使用。现在对 NiAl 的研究已有了长足的进展。在 NiAl 单晶、机械合金化多晶合金及复合材料方面均开展了广泛的研究; 在多晶 NiAl 方面基本上形成了两个系列: 一是以 Ni-Al-Ti 系为基的合金, 其高温强度较高, 但室温塑性较低^[4, 5]。二是以 Ni-Al-Fe 系为基的合金, 其室温塑性较好, 但高温强度较低^[6, 7]。本文试图在 Ni-Al-Fe 系为基的合金中, 通过形成 TiB₂ 质点构成弥散质点强化的复合材料, 以提高其高温强度。

1 实验方法

本实验选用 Ni-25Al-25Fe 合金为基, 在中频感应炉中采用双真空熔炼, 熔模铸造方法制得试样毛坯。TiB₂ 质点是在熔融状态加入 Ti 和 B 元素, 随铸件一次反应生成。用 HF-HNO₃-甘油=1:3:5 的腐蚀剂腐蚀金相试样。在 MIM-8 光学显微镜下观察显微组织, 用扫描电镜观察高倍组织。用 Instron-1196

型拉伸机测试力学性能。

2 实验结果和讨论

2.1 TiB₂ 在合金中的分布

试验合金和原基体合金的成分如表 1 所示。其原始组织和复合后的组织如图 1。根据以前的工作, 枝晶间呈白色的相是 γ 相, 枝晶杆是 β-NiAl 相呈黑色。可以看出加入 TiB₂ 质点后对基体组织无影响, 只是在 γ 和 β 相中不同程度的分布了 TiB₂ 质点。其中大部分在 γ 相中, 只有很少一部分在 β-NiAl 相中。在 γ 相中, TiB₂ 质点有棒状和颗粒状。图 2 给出了 TiB₂ 质点在 γ 相中分布的扫描电镜照片。由此可以看出, TiB₂

表 1 基体合金和试验合金的成分 (at%)

Table 1 Composition of the substrate
and experimental alloy

合金	Ni	Al	Fe	Ti	B
基体合金	50	25	25	-	-
试验合金 1	46.25	23.125	23.125	2.5	5.0
试验合金 2	49.25	24.625	24.625	0.5	1.0

与基体的结合是不牢固的, 基体与质点的表面常常存在着裂纹, 在有些大质点棒中质点本身也产生了裂纹。而颗粒小的质点内部和周围这种现象有所减弱。

2.2 热处理状态对 TiB₂ 分布的影响

将试验合金经 1250 / 4h 固溶+ 空冷处理+ 760 / 10h 时效, 其组织与铸态组织有较大差异, 如图

3 与图 1b 相比, 在 β -NiAl 相中析出较多的 TiB₂ 颗粒, 其颗粒状态大多是菱形或矩形, 只有少量是棒状。平均尺寸远远小于在 γ 相中的颗粒尺寸, 大约为 2~3 μ m, 并且在相内均匀分布的程度较高。但在颗粒与基体之间的界面仍有微裂纹存在。由于平均颗粒尺寸减小, 其颗粒内部的裂纹也相应减小, 电子显微镜测

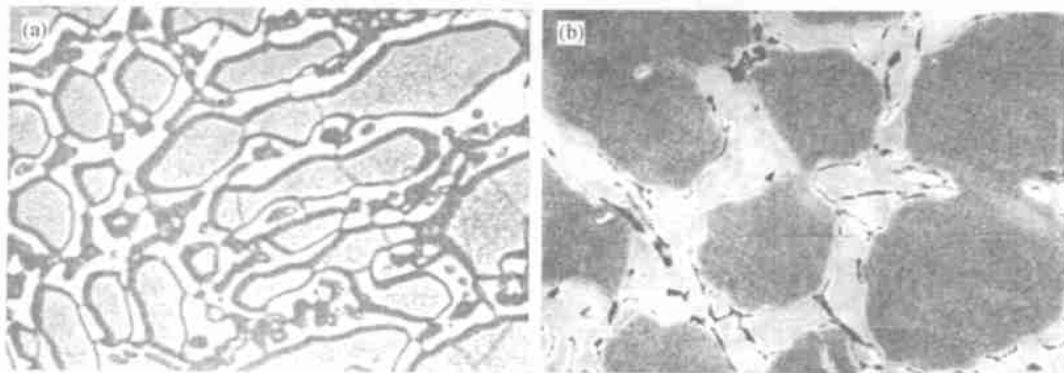


图 1 基体合金和强化后复合材料的组织

(a) 基体合金原始组织 (200 \times); (b) 试验合金的组织 (500 \times)

Fig. 1 Microstructure of the substrate and strengthened composite materials

(a) original microstructure of the substrate; (b) microstructure of the experimental alloy

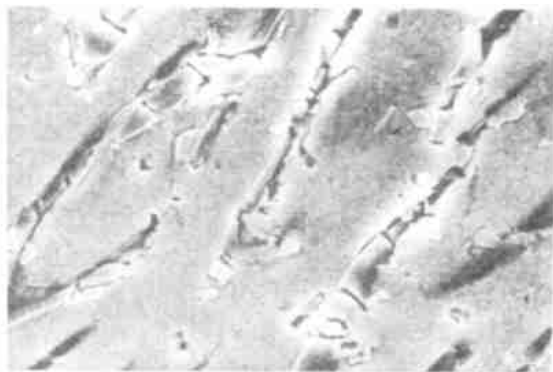


图 2 TiB₂ 内部及 TiB₂-基体界面微裂纹 (3000 \times)

Fig. 2 Microcrack in the internal of TiB₂ and the TiB₂-substrate interface

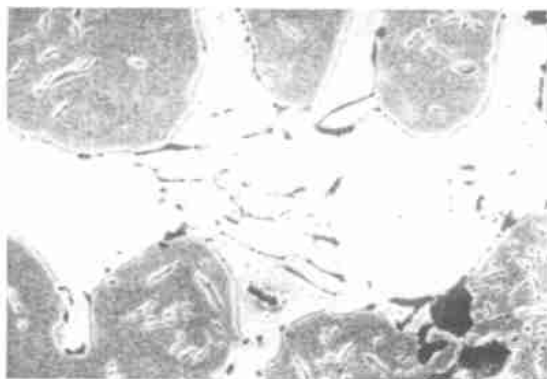


图 3 热处理后的组织 (150 \times)

Fig. 3 Microstructure after heat treatment

定结果表明, TiB₂ 质点与基体的取向表现出明显的随机性, 与文献 [8] 相符。

定量金相表明, 热处理后 TiB₂ 质点的体积分数明显增多, 这说明铸态时 TiB₂ 的析出不充分, 且不均匀。造成不均匀的原因可能是 Ti 和 B 在 γ 相和 β -NiAl 相中的溶解度不同。从合金的强化理论来分析, 热处理后 TiB₂ 的析出形式和分布对提高合金的强度有利, 尤其是高温强度。我们知道 Ni-Al-Fe 系合金在高温塑性非常好, 并有超塑性现象。微小、方形 TiB₂ 质点的弥散分布对阻止位错滑移、提高高温强度有利。TiB₂ 的熔点较高, 化学稳定性也较好, 与 NiAl 无化学反应, 是较好的强化材料。但从组织来看 TiB₂ 质点与 NiAl 和 γ 相基本属于物理结合, 无取向关系, 这就很大程度地限制了它的强化效果和降低了强化潜力。加之 TiB₂ 质点较脆, 容易开裂, 大块的 TiB₂ 无论是在晶界还是在颗粒内部都可能会形成裂纹源, 也会降低强化效果。因此, 为使得 TiB₂ 质点有更大的强化效果, 形成细小, 均匀的 TiB₂ 质点是非常必要的。

为获得均匀细小的 TiB₂ 质点, 应对 TiB₂ 的先析出量和热处理制度进行严格的控制。先析出量就是指铸态时 TiB₂ 的析出量, 实验表明, 先析出量可以通过加入 Ti 和 B 元素的量来控制, 而其形状控制则是非常难的事。热处理后析出的 TiB₂ 质点尺寸比较均匀, 其均匀程度也较便于控制。因此, 要获得较好的组织, 最好是先析出量较少, 使 TiB₂ 质点的大部分是通过

热处理形成。图 4 就是通过这种方法获得的组织。可以看出,其析出是均匀的,颗粒也非常细小,只有~1 μ m。

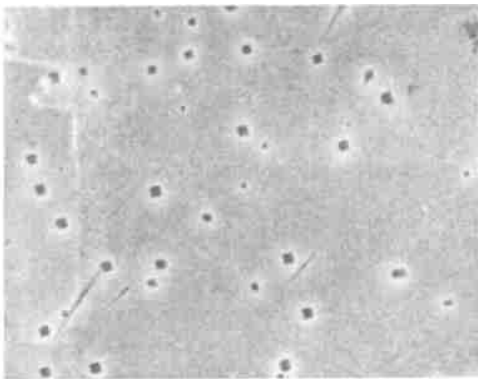


图 4 细小均匀的TiB₂在NiAl基金属中的析出(3000×)
Fig. 4 Precipitation of fine and uniformity
TiB₂ in the NiAl based alloy

2.3 TiB₂ 质点强化合金的性能

我们分别对以上三种合金进行了力学性能测试,其结果示于表 2,其中试验合金 1 由于 TiB₂ 质点过多,造成合金硬度太高,无法机械加工。可以看出在 800 ,试验合金 2 的性能明显高于基体合金,而在 1000 的性能无太大差异。这说明 TiB₂ 质点强化主要是在中温区起作用,在高温区就失去了作用。这可能是因为当合金超过 1000 时,已经进入了基体合金的超塑性温度, TiB₂ 质点已不能阻止基体的塑性变形。

表 2 三种合金的力学性能比较

Table 2 Properties comparison of three alloys

性能	σ_b /MPa		
	20	800	1000
基体合金	1108.00	53.00	27.00
试验合金 1	963.00	127.00	70.30
试验合金 2	987.00	284.00	69.20

3 结论

- (1) 通过控制 Ti 和 B 的加入量和适当的热处理制度可以获得均匀细小的 TiB₂ 颗粒。
- (2) 均匀细小的 TiB₂ 颗粒可以提高合金的中温性能(800),但对高温性能无明显影响(1000 以上)。

参考文献

[1] Ram Darolia. JOM, 1991, (3).

[2] R D Noebe, R R Bowman, M V Nathal. International Materials Reviews. 1993, 38 (4) .
[3] S Guha, P R Munroe, I Bahcer. Materials Science and Engineering, 1991, A131.
[4] V G Rivlin, G V Raynor. International Metals Reviews. 1980, 3.
[5] K Ishida, R Kainuma, N.Ueno, et al. Metallurgical Transactions, 1991, 22A (2).
[6] K O Yu, J A Oti, W S Walston. JOM, 1993, (5).
[7] P R strutt, R S Polvani, J C Ingam. Metallurgical Transactions, 1976, 7A (1).
[8] S R Schuon, V Rehgets. Mat Res Soc Symp Proc, 1989, 133.

收稿日期: 2000-01-10
作者简介: 赵希宏 (1957-), 男, 研究员, 北京航空材料研究院副总师, 主要从事高温合金研究工作, 联系地址: 北京 81 信箱 7 分箱 (100095)。
本文编辑: 孙常青

* * * * *

(上接第 23 页)

回收率。然而从另一方面讲,回收网材料中加入少量的镍,镍氧化溢出后,在回收网表面形成空穴,使得回收网有效表面积增大,因而提高了铂的回收率;同时,又由于 PdNi5 合金网具有比纯 Pd 网较好的高温强度和延伸率,克服了纯 Pd 网在使用过程中易破裂的缺点,因而提高了铂回收率,降低了铂损失率。

3 结论

- (1) 在用钯或钯合金网回收铂催化剂的过程中,铂、钯迅速双向扩散形成无限固溶体。
- (2) 使用后 PdNi5 回收网的表面形貌表明吸附物晶粒长大是以台阶方式进行的,在晶粒长大的后期出现螺旋生长。
- (3) PdNi5 回收网与 Pd 网相比,铂回收率提高 10% 以上,钯损耗降低 3%。

致谢: 参加本项工作的还有张文彬、王向东、胡占梁、任凤英、刘国良、靳玉凯

参考文献

[1] Yuantaon Ning. Platinum Metals Rev, 1995, 39, (1) 19.
[2] J C Chaston. Platinum Metals Rev, 1965, 9, (4), 126.

收稿日期: 2000-01-08
作者简介: 高山 (1966-), 男, 高级工程师, 研究室主任。联系地址: 北京市 81 信箱 14 分箱 (邮编 100095)。
本文编辑: 全宏声