

8) 254-257

镍基单晶高温合金定向粗化行为的取向依赖性*

I γ' 形态的 SEM 观察

沙玉辉 张静华 徐永波 胡壮麒

(中国科学院金属研究所材料疲劳与断裂国家重点实验室, 沈阳 110015)

摘要 利用 SEM 对镍基单晶高温合金中 γ' 颗粒定向粗化及其取向依赖性进行了观察, 结果显示, γ' 颗粒形态依赖于应力轴取向, 而粗化方向均为 $\langle 100 \rangle$.

关键词 镍基单晶高温合金, 定向粗化, γ' 形态

中图法分类号 TG132.3, TG111

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2000)03-0254-04

取向依赖性

TG146.15

ORIENTATION DEPENDENCE OF DIRECTIONAL COARS-ENING BEHAVIOR IN A NICKEL-BASE SINGLE CRYSTAL SUPERALLOY

I SEM Observation of γ' Precipitate Morphology

SHA Yuhui, ZHANG Jinghua, XU Yongbo, HU Zhuangqi

State Key Laboratory for Fatigue and Fracture of Materials, Institute of Metal Research, The Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015

Correspondent: SHA Yuhui, postdoctor, Tel: (024)23968655

Manuscript received 1999-09-16, in revised form 1999-12-06

ABSTRACT The directional coarsening of γ' precipitates and its orientation dependence were observed by SEM, and the results showed that the γ' precipitate morphology depends on stress axis, while the coarsening directions of γ' precipitate are along $\langle 100 \rangle$ for various stress axis.

KEY WORDS nickel-base single crystal superalloy, directional coarsening, γ' morphology

镍基单晶高温合金在应力和高温的长时间作用下, γ' 颗粒通常会沿某个方向上的择优长大, 这种现象称为定向粗化 (directional coarsening). 大量研究^[1-6]认为, 影响 γ' 形态及其演化动力学的主要参数是外应力的方向和大小、 γ' 颗粒与 γ 基体间的点阵错配度以及弹性常数差. 定向粗化的方向由外应力方向 (拉或压) 与错配性质 (正或负) 决定. 即在正错配拉应力或负错配压应力下, 粗化方向与应力轴平行. 而在正错配压应力或负错配拉应力下, 粗化方向与应力轴垂直.

这些研究基本限于应力轴沿 [001] 取向, 为此本文对 γ' 定向粗化过程的取向依赖性进行了比较系统的研究, 以期丰富和加深对这一现象的认识.

1 实验方法

研究用材料为中国科学院金属研究所研制的镍基单晶高温合金 DD8. 其初始组织如图 1 所示, 边长 250 nm 的立方体形 γ' 颗粒沿 $\{100\}$ 面规则排列于 γ 基体中. γ/γ' 界面共格. 室温错配度 $\delta_{RT}=0.04\%$, γ' 相体积分率约为 60%, 合金成分见表 1. 单晶棒经 Laue 背散射法定向后, 用线切割机定向切取轴向为 [001]、[110] 及 [111] 的压缩试样, 如图 2 所示. 实验在 1223 K 下, 以 $8 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ 恒速率压缩方式进行. 分别在 2%、5% 和 10% 塑性变形处中断, 然后将试样沿不同晶面剖开, 经抛光及电解腐蚀后, 利用 SEM 观察 γ' 形态演化及其取向依赖性. 选择观察晶面的原则是足以构造出 γ' 的空间形态. 图 2 中的阴影面即为所选择的观察晶面. 实验在 Mayes 机上进行, 环境为空气, 实验过程中温度波动控制在 $\pm 2 \text{ K}$ 以内.

2 实验结果

图 3 所示为应力轴沿 [001] 取向时 γ' 定向粗化过程.

* 国家自然科学基金资助项目 59871052

收到初稿日期: 1999-09-16, 收到修改稿日期: 1999-12-06

作者简介: 沙玉辉, 男, 1969 年生, 博士后

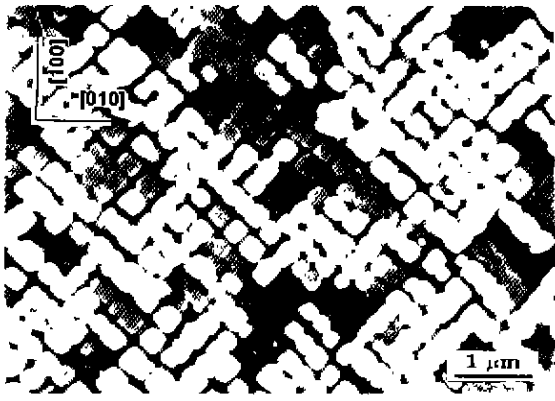


图 1 单晶高温合金 DD8 的初始显微组织

Fig.1 Initial microstructure of single crystal superalloy DD8

变形量为 2%、5% 和 10%。图 3a, b, c 是从 (100) 面观察到的 γ' 形态, 可以看出, 2% 变形后, γ' 颗粒形态未发生明显改变, 但颗粒棱角已局部溶解, 颗粒在 [001] 方向上有相互接合的趋势, 经过 5% 变形, 颗粒在 [001] 方向上已接合在一起, 形成棒结构, 而 10% 变形后, 颗粒在 [001] 方向上几乎完全融合到一起, 很难分辨出单个颗粒, 同时棒之间在 [010] 方向上也有部分连接。图 3d, e, f 是从 (001) 面观

察到的 γ' 形态, 变形 2% 时, 颗粒形态与 (100) 面相近, 经过 5% 变形后, 部分颗粒在 [100] 及 [010] 方向上发生短程相互接合, 另一部分颗粒仍以个体形式存在, 10% 变形后, γ' 形态与 5% 变形对应的形态相似, 只是颗粒接合的程度及颗粒列的不规则程度稍有增加, 颗粒仍然清晰可辨。综合两个观察晶面, 应力轴沿 [001] 取向时, γ' 颗粒棱角首先局部溶解, 而后在 [001] 方向上接合成为棒结构, 同时棒表面逐渐变得不平整, 使在 [100] 及 [010] 方向上也发生部分接合, 此外在 γ' 粗化过程中, 垂直基体通道宽度略有增大。

图 4 所示为应力轴沿 [110] 取向时 γ' 形态演化过程, 变形量为 2% 和 10%。图 4a, b 对应于 (001) 观察面, 可以看出, 2% 变形后, 颗粒棱角局部溶解, 在 [100] 和 [010] 方向上有互相接合的趋势, 变形 10% 后, 颗粒在这两个方向上融合成“L”形。图 4c, d 是从 (010) 面观察到的 γ' 形态, 经过 2% 变形, 颗粒在 [100] 方向上开始接合, 10% 变形后, 颗粒几乎完全融合在一起。综合两个观察晶面, 应力轴为 [110] 取向时, 首先仍是颗粒棱角局部溶解, 随后颗粒在 [100] 和 [010] 方向上相互融合成“L”形结构, 而在“L”形结构的厚度方向即 [001] 方向, γ' 颗粒尺寸稍有减小。

图 5 为应力轴沿 [111] 取向时 γ' 形态演化过程, 变

表 1 DD8 合金及 γ 和 γ' 相成分
Table 1 Compositions (atomic fraction, %) of DD8 alloy, γ' and γ phases

Alloy	Ni	Co	Ti	Al	Cr	W	Ta
DD8	59.85	8.21	4.58	8.05	17.17	1.77	0.37
γ'	71.60	2.17	8.78	12.43	2.91	1.47	0.64
γ	47.47	14.52	0.19	3.51	32.10	2.12	0.08

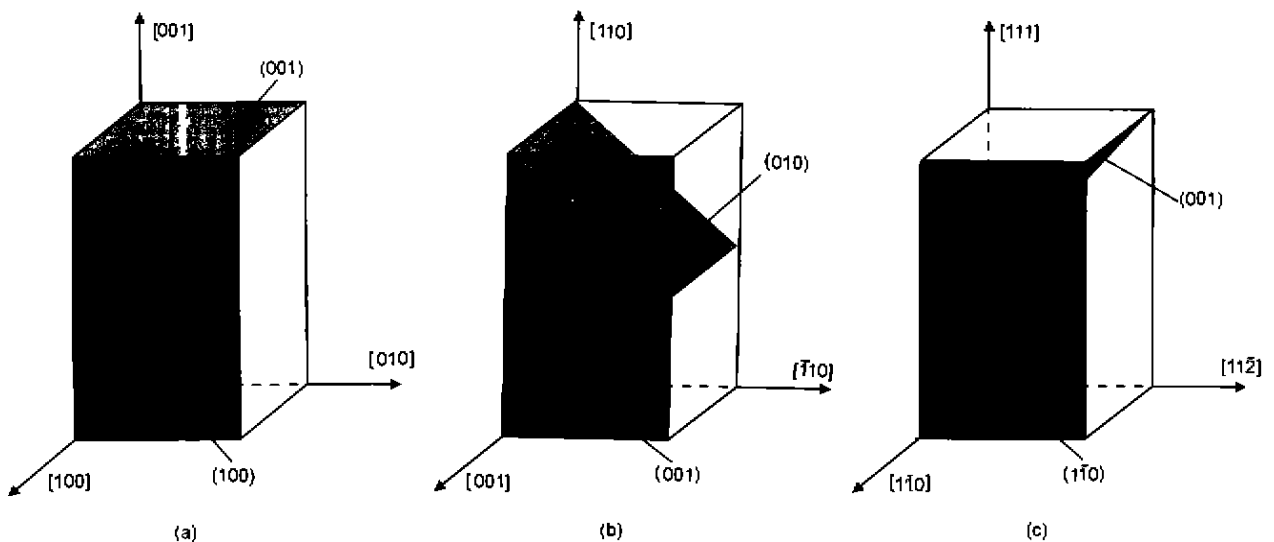


图 2 压缩试样的取向及观察面示意图

Fig.2 Schematic illustration for orientation and observation planes(shaded) of compression specimens
(a) [001] (b) [110] (c) [111]

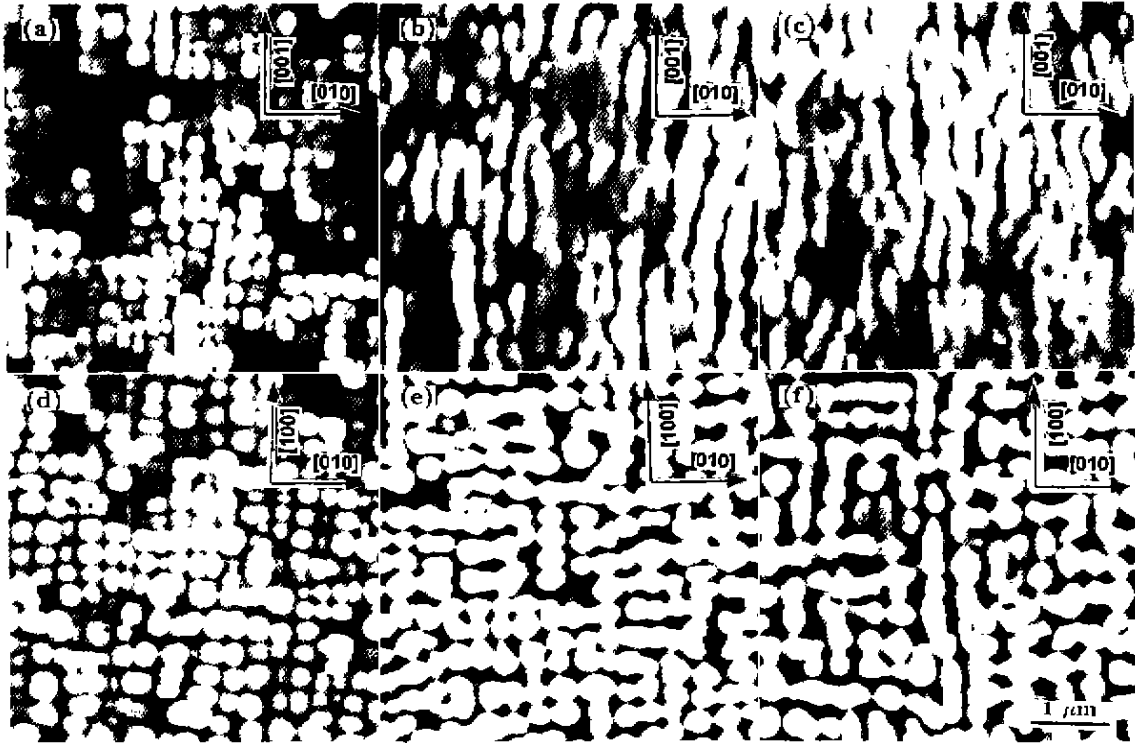


图3 [001]取向试样中的 γ' 颗粒形态

Fig.3 Morphologies of γ' precipitates in specimens with [001] stress axis observed on (100) (a, b, c) and (001) (d, e, f)
(a) $\epsilon=2\%$ (b) $\epsilon=5\%$ (c) $\epsilon=10\%$ (d) $\epsilon=2\%$ (e) $\epsilon=5\%$ (f) $\epsilon=10\%$

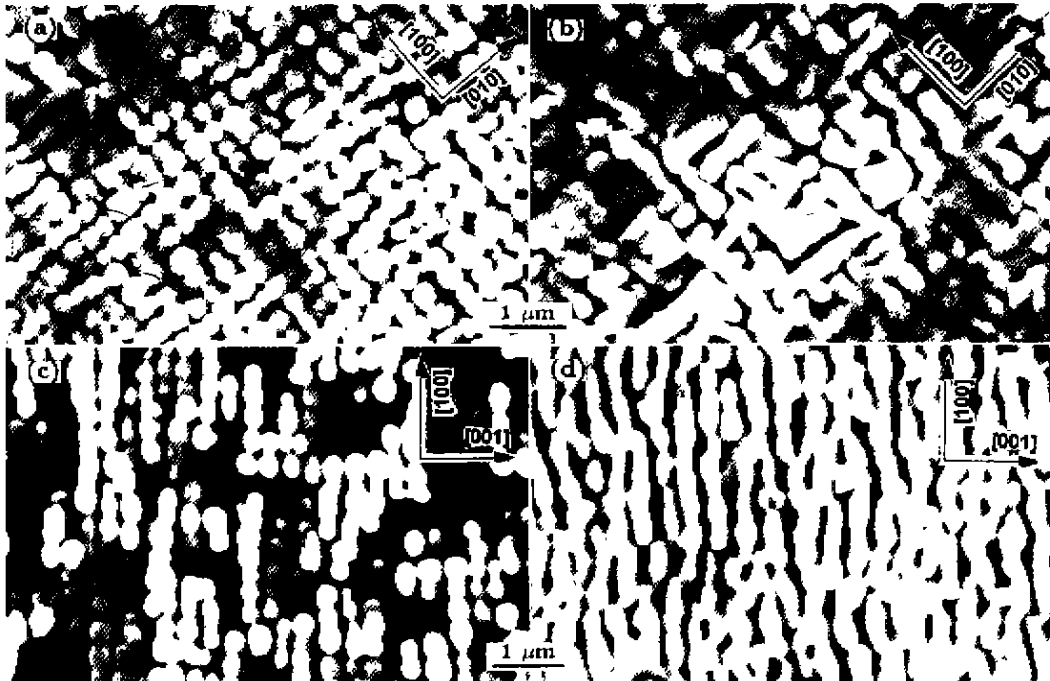


图4 [110]取向试样中的 γ' 颗粒形态

Fig.4 Morphologies of γ' precipitates in specimens with [110] stress axis observed on (001) (a, b) and (010) (c, d)
(a) $\epsilon=2\%$ (b) $\epsilon=10\%$ (c) $\epsilon=2\%$ (d) $\epsilon=10\%$

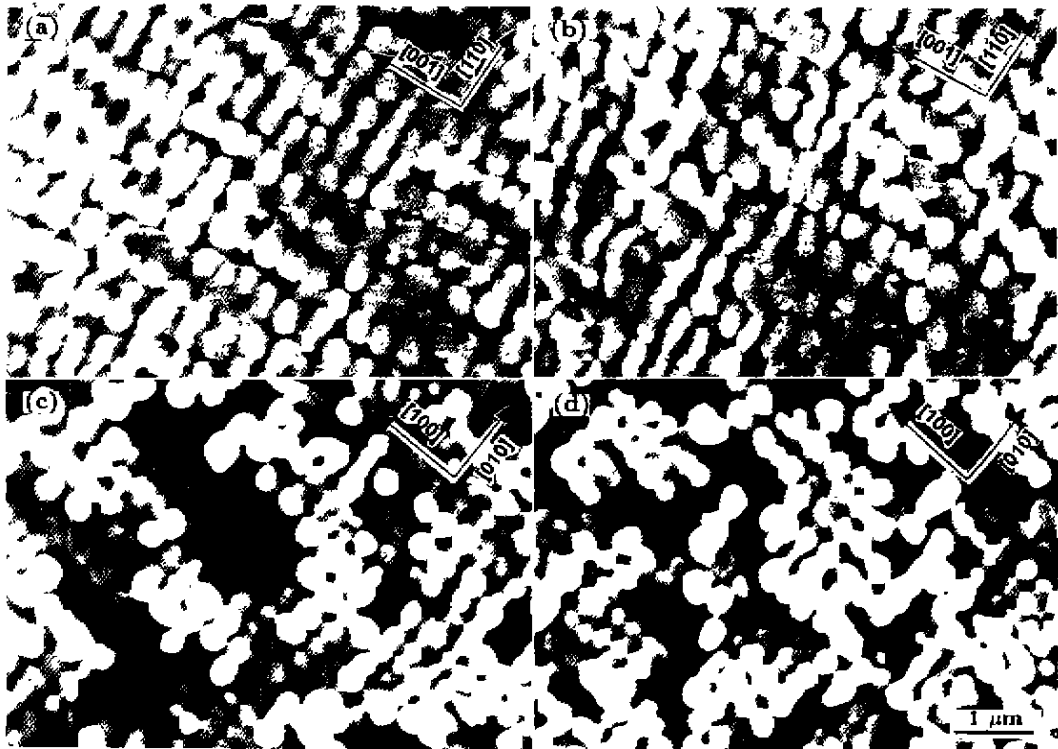


图 5 [111] 取向试样中的 γ' 颗粒形态

Fig.5 Morphologies of γ' precipitates in specimens with [111] stress axis observed on (110) (a, b) and (001) (c, d)
(a) $\epsilon=5\%$ (b) $\epsilon=10\%$ (c) $\epsilon=5\%$ (d) $\epsilon=10\%$

形量为 5% 和 10%。图 5a, b 对应于观察面 (110), 可以看出, 5% 变形后, γ' 颗粒并没有发生沿某个方向上的相互接合, 变形 10% 后, 也仅出现部分颗粒的轻微接合。图 5c, d 是从 (001) 面观察到的 γ' 形态, 5% 变形后, 只是颗粒棱角局部溶解, 经过 10% 变形, 部分颗粒沿 [100] 和 [010] 方向开始接合。综合两个观察晶面, 对于 [111] 应力轴取向, 颗粒没有表现出定向粗化的趋势, 只是在变形量较大时, 沿三个 (100) 方向出现程度很低的接合现象, 颗粒基本以个体形式存在。

3 结论

镍基单晶高温合金中 γ' 颗粒的定向粗化行为依赖于应

力轴取向, 在压应力条件下, 对于 [001] 取向, γ' 颗粒沿 [001] 方向粗化成棒结构; 对于 [110] 取向, 则沿 [100] 和 [010] 方向粗化成“L”结构; 而对于 [111] 取向, γ' 颗粒没有显示出沿任何方向上的定向粗化趋势, 颗粒形状基本保持不变, 同时与粗化方向平行的基体通道宽度减小。

参考文献

- [1] Tien J K, Gamble R P. *Metall Trans*, 1971; 2: 1663
- [2] Tien J K, Gamble R P. *Metall Trans*, 1972; 3: 2157
- [3] Pineau A. *Acta Met*, 1976; 24: 559
- [4] Miyazaki T, Nakamura K, Mori H. *J Met Sci*, 1979; 14: 1837
- [5] Mackay R A, Ebert L J. *Metall Trans*, 1985; 16A: 1969
- [6] Pollock T M, Argon A S. *Acta Mat Mater*, 1992; 40: 1