

DD2 单晶合金长期时效后的组织与性能

Microstructure and Endurance Property of DD2

Single Crystal Alloy after Long ageing

北京航空材料研究所 钟振纲 劳曰玲

Zhong Zhengang Lao Yueling (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 研究了 DD2 单晶合金经 850℃、900℃, 1000h、2000h 和 3000h 长期时效后显微组织中的 γ' 相及合金持久性能。结果表明, DD2 单晶合金时效后无任何有害相产生。

关键词: 单晶 时效 γ' 相 持久性能

[Abstract] This paper investigated microstructure and endurance property of DD2 single crystal alloy after ageing at 850℃, 900℃ for 1000h, 2000h, 3000h. The results showed that TCP phase has not appeared in DD2 single crystal alloy after ageing.

Keywords: single crystal ageing γ' phase endurance property

1 前言

人们对铸造镍基高温合金高温强度要求的不断提高导致其合金化程度越来越高,而且 W、Mo、Nb、Ta 等高熔点元素的浓度也不断增加,如 DD2 单晶合金中 W + Mo + Ta 的重量百分比已达 14%。为此,本文研究了 DD2 单晶合金于 850℃ 及 900℃ 下经 3000h 时效后的微观组织与性能。

2 试验方法

DD2 单晶合金的化学成分如表 1。合金首先在 IS65V8 真空感应炉熔炼浇注成母合金锭,再由 ZGD1 真空感应定向炉制备成 30mm×15mm×180mm 的单晶板坯。单晶试样经标准的固溶及时效处理(1315℃, 4h, A. C+1100℃, 4h, A. C+870℃, 20h, A. C)后,于 850℃ 及 900℃ 下分别进行 1000h、2000h 和 3000h 长期时效试验。对于长期时效的试样和只进行过标准热处理的试样,均进行微观组织观察及 760℃、950℃ 和 1050℃ 三个温度的持久性能对比试验。

表 1 DD2 化学成分

Cr	Co	W	Mo	Al	Ti	Ta	Ni
7.7	4.72	7.88	0.6	5.62	1.12	6.02	余

3 试验结果及讨论

3.1 微观组织

经标准热处理的 DD2 单晶合金,其微观组织如图 1 所示。 $\gamma+\gamma'$ 共晶相已完全溶解,仅由约 70vol% 的 γ' 沉淀强化相及 γ 基体两个相组成, γ' 相均为 0.5 μm 以下的立方化细小颗粒。

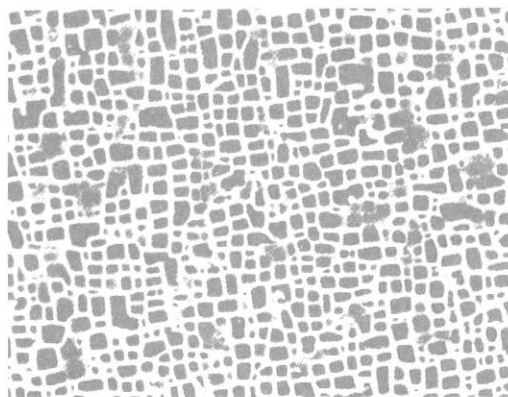


图 1 DD2 合金标准热处理后微观组织

图 2 为经过 850℃, 1000h、2000h 和 3000h 时效后的微观组织。可以看出,即使经过 3000h 时效, γ' 相的尺寸及形貌基本没有明显变化。而经 900℃ 时效后的微观组织,随时效时间的增加, γ' 尺寸及形貌均有较大的变化。从图 3 可以看出,经 3000h 后的 γ' 尺寸较标

准热处理后的长大了约 10 倍。

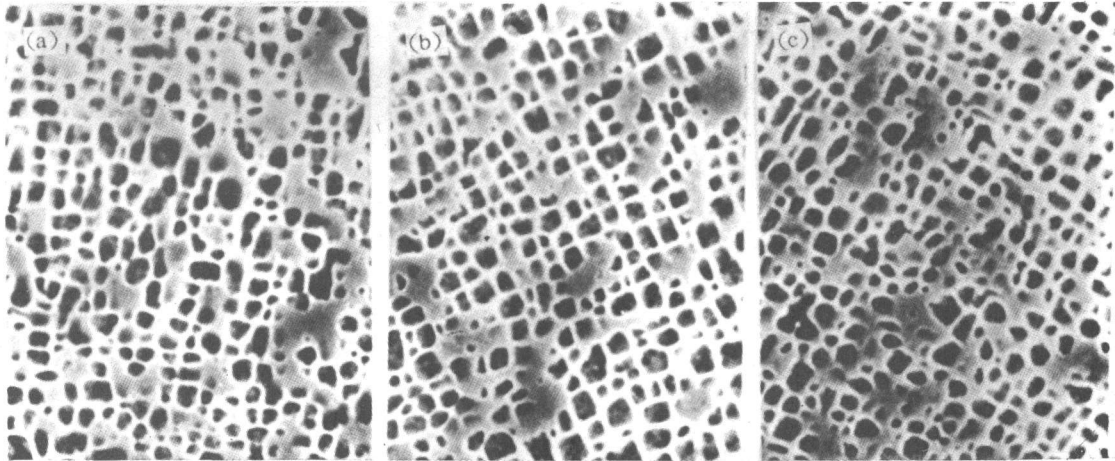


图 2 850℃长期时效后 DD2 合金的微观组织 5000×
(a) 1000h; (b) 2000h; (c) 3000h

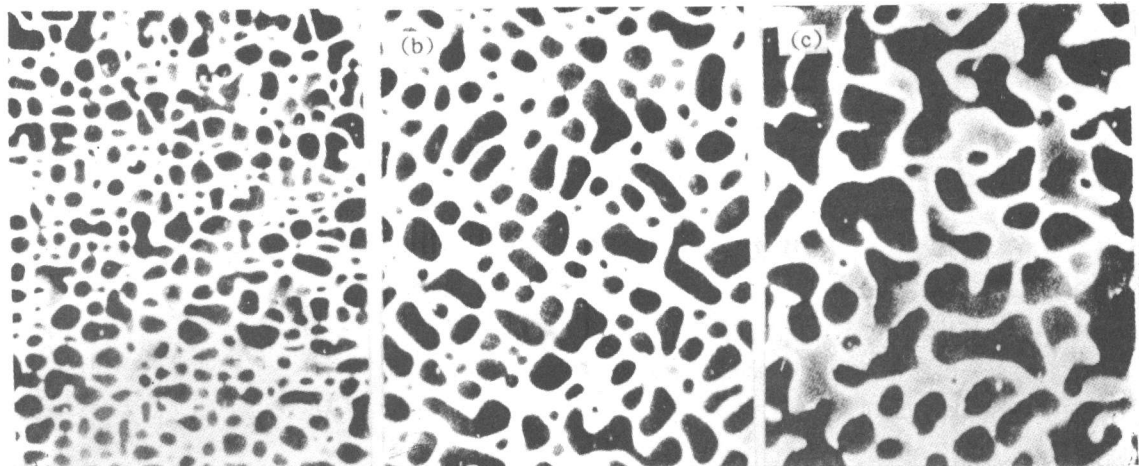


图 3 900℃长期时效后 DD2 合金的微观组织 5000×
(a) 1000h; (b) 2000h; (c) 3000h

总之，无论在 850℃还是在 900℃，经 3000h 长期时效后的 DD2 单晶合金，其微观组织中均没有发现 σ 、 μ 等 TCP 有害相的出现。

3. 2 持久性能

经过标准热处理以及在不同温度下经不同时间时效过的试样的持久性能测试结果列于表 2。可以看出，

表 2 不同状态下 DD2 持久性能

热处理工艺		760℃, 804MPa			950℃, 240MPa			1050℃, 140MPa		
$\theta, ^\circ\text{C}$	t, h	t, h	$\delta, \%$	$\psi, \%$	t, h	$\delta, \%$	$\psi, \%$	t, h	$\delta, \%$	$\psi, \%$
标准热处理		297 ± 20	16.2	15.2	298 ± 55	27.3	39.3	267 ± 00	15.8	34.9
标准 +850	1000	327 ± 00	14.6	18.6	376 ± 20	40.8	38.9	233 ± 00	16.0	38.3
	2000	307 ± 50	14.2	16.2	386 ± 30	26.9	36.8	213 ± 20	10.8	26.4
	3000	238 ± 35	16.6	18.6	406 ± 00	26.3	37.1	—	—	—
标准 +900	1000	185 ± 00	13.2	18.2	374 ± 00	32.0	47.8	271 ± 30	19.3	52.1
	2000	150 ± 00	16.8	21.2	334 ± 10	40.8	45.4	240 ± 00	11.3	28.0
	3000	64 ± 35	16.8	22.4	270 ± 30	26.3	39.6	—	—	—

(下转封三)

《材料工程》大量论文被美国工程索引(EI)收录

据《1994 中国科技论文统计与分析》(年度研究报告)披露,1994 年,美国工程索引(The Engineering Index, 简称 EI)收录我国科技期刊发表的科技论文共 8006 篇,其中收录北京航空材料研究所主办的《材料工程》发表的论文 207 篇。在我国航空工业系统的期刊中,《材料工程》的论文被收录最多。除《材料工程》外,美国工程索引还收录了我国航空工业系统《西北工业大学学报》等三个刊物的论文。一年之内收录《材料工程》的论文达 207 篇,意味着《材料工程》的多数论文都进入 EI 数据系统。

美国工程索引是世界著名检索系统,是一种报导有关工程技术方面的检索工具,几乎涉及世界工程技术发展的每一个方面,创刊于 1884 年。它的特点是收录内容多而广,仅 1994 年就收录世界各国科技论文 18.2 万余篇,信息量很大。美国工程索引现在以月刊本,年卷本,卡片,缩微胶卷以及计算机用光盘等多种版式出版。版式虽不同,但内容完全相同。科技人员可以通过计算机网络系统以及手工等多种方式检索美国工程索引收录的各种信息。(全宏声)

* * * * *

(上接第 38 页)

在 850℃ 长期时效后的中温及高温持久性能均无明显变化;而 900℃ 时效,随时效时间的延长,合金的 760℃ 中温持久寿命降低,而高温下的持久寿命则无明显变化。

从长期时效后的 DD2 单晶合金微观组织与持久性能结果可以看到,DD2 单晶合金经 900℃、3000h 高温长期时效后,没有发现任何有害相的析出,合金的高温持久性能也无明显变化,说明 DD2 单晶合金适合于作高温长寿命的航空发动机叶片材料。同时,DD2 单晶合金也具有—般镍基铸造高温合金于高温长时工作条件下 γ' 相聚集长大的特点,这只对中温持久寿命有较大

影响,而对高温持久寿命及所有温度下的持久塑性均无明显影响。

4 结语

(1) DD2 单晶合金经 850℃、3000h 时效后,组织稳定,无任何有害相析出, γ' 尺寸变化不大,其持久性能仍维持时效前的水平。

(2) 经 900℃ 长期时效后,虽无任何有害相析出,但 γ' 相随时效时间增加而长大,中温持久寿命呈明显下降趋势。但所有温度下的持久塑性及高温持久寿命,均无明显改变。

* * * * *

熔模精铸壳型生产的新设备

Pickersgill-Kaye 公司的精铸厂安装了一台大大提高熔模壳型生产力的设备。这种新设备有一个“顶帽”,便于壳型传送,它可进行彻底的脱蜡处理,包括熔蜡、固化/焙烧,均在一个集中的系统里。该设备已代替了传统的前装料室炉子,后者必须经常维修,性能不可靠,对铸型的传输也不便利。上述新设备的炉子工作室尺寸为:1700mm×1000mm×1000mm,能容纳 60 个标准铸型。炉子的“顶帽”带着加热器件上升后,壳型可以手工卸到地面上,其最大负荷为 750kg。脱蜡、固化/焙烧作业由

微机控制,能预先设定以保证全自动工作。典型的程序包括:3h 加热到 200℃,然后再 10h 加热到 700℃,保温 3h,再冷却到 500℃,然后出炉浇注。炉缸专门设计成可让铸型中的蜡从一个中心排泄口流出并收集起来。该系统的功能及温控精密能使每次作业的近 95% 的蜡回收。该炉子可使工艺造成的积聚最小,降低以前设备有的对炉壁的腐蚀。双笔记录仪则记录下每一个工作周期。

(张宏伟)