

# 时效处理对 Rene '220 合金 相析出的影响

王 玲<sup>1</sup> 于永泗<sup>2</sup> 娄琅洪<sup>3</sup> 朱耀宵<sup>3</sup>

(1 河北科技大学材料学院,石家庄 050054)

(2 大连理工大学,大连 116024)

(3 中国科学院金属研究所,沈阳 110016)

**文 摘** 利用光学显微镜和扫描电镜分析了经不同制度时效处理的 Rene '220 合金的显微组织,找出了时效处理工艺参数对 强化相析出的影响规律,第一次时效温度决定了 相的数量,第二次时效温度决定了 相的最终尺寸。确定了最佳时效处理制度为 830 /4 h 炉冷 + 760 /10 h 空冷。

**关键词** 时效处理, 强化相,尺寸

## Effect of Aging Treatment on Precipitation of in Rene '220 Alloy

Wang Ling<sup>1</sup> Yu Yongsi<sup>2</sup> Lou Langhong<sup>3</sup> Zhu Yaoxiao<sup>3</sup>

(1 School of materials, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050054)

(2 Dalian University of Technology, Dalian 116024)

(3 Institute of Metal Research, The Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016)

**Abstract** The microstructure of Rene '220 alloy after different aging treatments is by optical microscope and SEM investigated to find the regularity of the effect of aging treatment parameters on the precipitation of . The quantity of is determined by the first aging temperature and the final size of is determined by the second aging temperature. The best aging treatment is at 830 /4 h(F. C.) and 760 /10 h(A. C.).

**Key words** Aging treatment ,Strengthening phase ,Size

### 1 引言

高温合金是航空发动机、火箭发动机以及燃气轮机所必需的重要材料,其研究的主要目标之一就是提高使用温度以满足发动机效率和推力不断提出的要求。Rene '220 合金就是在这种不断增长的耐高温能力的要求下研制出来的。Rene '220 合金研制的基础是 In718 合金,其优于 In718 的特点是主要强化相 的动力学析出缓慢,使 Rene '220 的使用温度比 In718 提高了 50 ,能够在 700 下长期使用而保持组织和性能稳定,具有十分广阔的应用前

景<sup>[1,2]</sup>。

本文研究了 Rene '220 合金的显微组织在不同时效制度下的变化,确定了时效处理工艺参数对强化相的影响规律,为该合金热处理制度的设计提供依据。

### 2 试验

#### 2.1 材料

试验材料为在真空感应炉中冶炼获得的 Rene '220 合金,其化学成分见表 1。

收稿日期:2003 - 05 - 19

王玲,1970 年出生,硕士,主要从事高温合金的开发与研制工作

表 1 Rene 220 合金的化学成分

Tab. 1 Chemical composition of Rene 220 alloy

%(质量分数)

成分分析	C	Cr	Co	Nb	Mo	Al	Ti	Ta	B	Ni
配料成分	0.03	19.0	12.0	4.5	3.2	0.5	1.0	3.0	0.008	余
分析成分	0.02	18.85	12.14	4.6	3.23	0.62	1.04	2.95	0.001	余

## 2.2 方法

### 2.2.1 试样的热处理

试样为切自铸锭的 10 mm × 10 mm × 10 mm 的试样块。根据前期的工作并参考 In718 的热处理制度确定了 Rene 220 合金的热处理工艺参数。时效前进行的热处理工艺为: 1400 / 4 h (均匀化) 空冷 + 1090 / 1 h (固溶) 空冷 + 952 / 2 h (处理) 空冷, 然后分别进行如下六种不同时效工艺的热处理:

(1) 850 / 4 h 炉冷 + 760 / 10 h 空冷; (2) 830 / 4 h 炉冷 + 760 / 10 h 空冷; (3) 800 / 4 h 炉冷 + 760 / 10 h 空冷; (4) 775 / 4 h 炉冷 + 760 / 10 h 空冷; (5) 830 / 4 h 炉冷 + 780 / 10 h 空冷; (6) 830 / 4 h 炉冷 + 730 / 10 h 空冷。

其中(1)~(4)为变化第一次时效温度的时效处理,(2)、(5)、(6)为变化第二次时效温度的时效处理。

### 2.2.2 试样准备

将试样用  $\text{CuSO}_4$  (20 g) +  $\text{HCl}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (5 mL) 电解腐蚀, 电解电压为 6 V ~ 10 V, 电流约 0.5 A ~ 1 A, 时间为 2 s ~ 3 s。

### 2.2.3 测试

用金相显微镜和扫描电镜对试样组织进行观察。

## 3 试验结果

### 3.1 一次时效温度对组织的影响

其它工艺参数固定, 只改变一次时效温度时, 各温度下的热处理组织如图 1 ~ 图 4 所示。



图 1 一次时效温度为 850 时的组织 300 ×

Fig. 1 Microstructure of Rene 220 after first aging at 850  
宇航材料工艺 2003 年 第 5 期



图 2 一次时效温度为 830 时的组织 300 ×

Fig. 2 Microstructure of Rene 220 after first aging at 830



图 3 一次时效温度为 800 时的组织 300 ×

Fig. 3 Microstructure of Rene 220 after first aging at 800

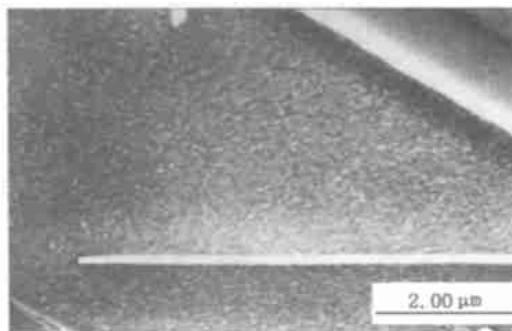


图 4 一次时效温度为 775 时的组织

Fig. 4 Microstructure of Rene 220 after first aging at 775

由图可以看出, 不同温度下一次时效处理后的组织相差很大。当一次时效温度为较高的 850 时, 第二相析出极不均匀(图 1), 析出相主要集中在枝晶间(图 1 中的黑色部位), 而枝晶干几乎没有第二相析出, 呈白色。枝晶干与枝晶间的过渡部位颜

色较浅(浅灰色),但析出区与无析出区界限明显。扫描电镜观察表明,析出区的第二相为盘片状的相。

当一次时效温度降到 830 时,枝晶干上的无析出区(白色区)面积明显减少,析出区与无析出区的界限已不明显,析出区几乎无析出相偏聚现象,颜色为浅灰色,相的析出趋于均匀(图2)。从过渡区的扫描电镜照片[图5,时效工艺(2)]可以看到,相的析出量较大,尺寸和分布比较均匀。从图2和图5还可以看到,在合金奥氏体基体上还析出有细小的颗粒状的相,枝晶间有小白块状的 Laves 相,其周围是细针片状呈一定取向的相。在晶界上有一些细小的相和碳化物<sup>[3]</sup>。

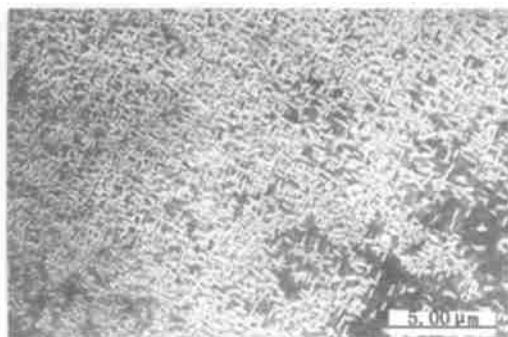


图5 二次时效温度为 760 时的组织  
Fig.5 SEM micrograph of Rene 220 after second aging at 760

当一次时效温度降到 800 时,无析出区的面积又发生扩大,析出区与无析出区又出现明显界限,且析出区的第二相分布也不均匀,与 850 一次时效不同的是,高密度第二相的析出部位不在树枝晶中间,而是在过渡区(图3)。扫描电镜观察表明,与枝晶间相比,过渡区相的尺寸略大,但其体积分数比却比枝晶间的还高。

当第一次时效温度降到 775 时,在金相显微镜下已观察不到灰黑色的析出区,说明在该温度下进行一次时效已无相析出。扫描电镜下的观察也证实了无相析出,但在奥氏体基体上却观察到了非常细小的颗粒状的相(图4)。

### 3.2 二次时效温度对组织的影响

上述试验结果表明,一次时效温度为 830 时,组织比较均匀。在固定一次时效温度为 830 并固定其它工艺参数,只改变二次时效温度时,各温度下

的热处理组织如图5~图7所示。从图中可以看出,不同温度下二次时效处理后相的数量、大小和分布有很大差别。

当二次时效温度为较高的 780 时,组织中有较大的相析出。光学显微镜下观察发现,枝晶间析出区灰黑颜色深浅不均。在扫描电镜下观察发现(图6),枝晶间析出区相大小不均,疏密不匀,形成两类大小完全不同的相,尺寸相差可达 3~5 倍。

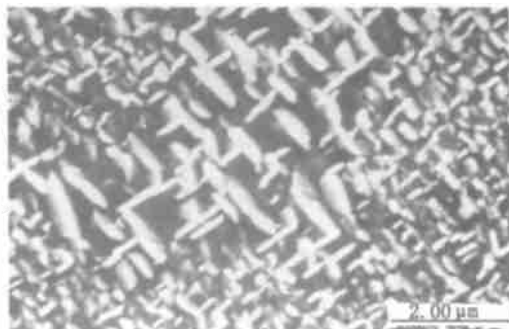


图6 二次时效温度为 780 时的组织  
Fig.6 SEM micrograph of Rene 220 after second aging at 780

如上所述,760 下二次时效的组织比较均匀(图2),其过渡区析出的相尺寸较细,大小和分布都比较均匀(图5)。当第二次时效温度降到 730 时,可明显见到贫相的枝晶干区,析出的相细小且分布不均匀(图7)。

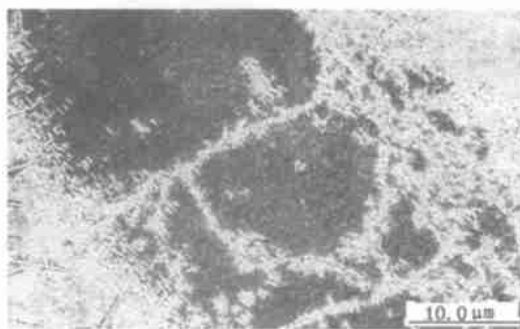


图7 二次时效温度为 730 时的组织  
Fig.7 SEM micrograph of Rene 220 after second aging at 730

### 3.3 时效温度对相的影响

一次和二次时效温度对枝晶间相尺寸和数量的影响示于图8和图9。可以看出,随一次时效温度的提高,相数量增加,而直径和厚度下降。这

说明,在一次时效过程中,相以形核为主,时效温度主要影响相的形核数量。随时效温度升高,相的形核速率大于其长大速度。当相形核量大时,其长大的空间变小,因而较高的时效温度虽对长大有利,但其实际尺寸却较小。在空间对长大有利的部位(如析出区与无析出区的交界处),相在较高温度下的尺寸还是很大的。

其它工艺参数不变时,随二次时效温度的提高,相的数量基本不变,而尺寸增加。当时效温度较高时,相的直径增加显著,说明二次时效过程中相以长大为主,即以一次时效形成的相为基础继续长大。同样的前期处理条件下,二次时效温度高,相的长大速度快,最终的尺寸也大。

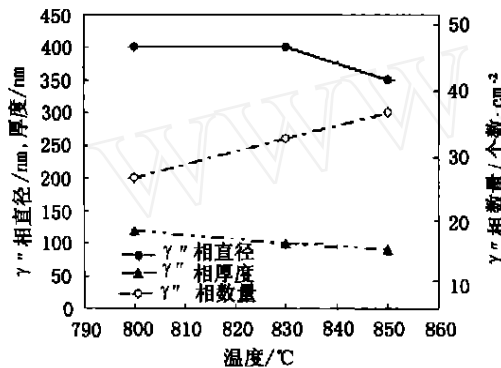


图8 一次时效温度对相的影响

Fig. 8 Effect of the first aging temperature on phase

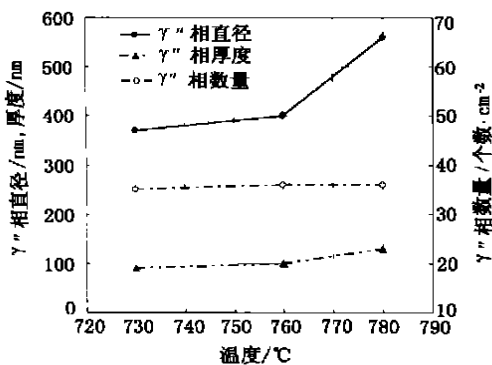


图9 二次时效温度对相的影响

Fig. 9 Effect of the second aging temperature on phase

#### 4 讨论

Rene 220合金热处理后组织不均匀与合金元素的偏析有关<sup>[4]</sup>。其中以Nb和Ta在枝晶间的偏析尤为严重,导致了富Nb、Ta的相在枝晶间析出量大,而枝晶干则量少或没有。

Rene 220合金中相的析出温度约为780 ~

900 (与In718相近)。In718的相析出C曲线的“鼻尖”温度约为850<sup>[5]</sup>。一次时效温度为850时,处于相析出C曲线的“鼻尖”温度,由于孕育期短,不利于元素的扩散,而有利于Nb、Ta富集的枝晶间快速形核,从而导致相形核量大,但分布极不均匀。在830进行的一次时效,由于孕育期较长,Nb、Ta等元素得以较充分的扩散,因而相形核量较大,且分布也相对比较均匀。在800进行一次时效时,由于温度较低,扩散困难,虽孕育期长但成分不均匀。温度较低,形核速率也低,但长大速度相对较快,造成在长大空间较大的过渡区相的尺寸比其他部位大,相的体积分数也高于枝晶间。在775下进行一次时效时,由于温度低,孕育期过长,已超过时效时间,因而没有相析出。

第二次时效温度低于780时,由于温度低,与775下的一次时效一样,不再有新的相析出。但在一次时效时析出的相在二次时效过程中将会继续长大。二次时效温度高(780),长大速度也快,相的最终尺寸粗大,且不均匀。二次时效温度较低(730),长大速度较慢,相的最终尺寸细小,在过渡区,相的密度较低,厚度比晶间的略有增加。

#### 5 结论

对于两段时效的Rene 220合金,第一次高温时效时以相形核为主,时效温度决定了相形核数量;第二次低温时效以相长大为主,时效温度决定了相的最终尺寸。在试验条件下,其它参数不变时,以第一次时效温度为830、第二次时效温度为760的热处理工艺所获得的组织较为理想,该时效制度是最佳的时效制度。

#### 参考文献

- 1 Lewis G J, Yates Aircr D H. High temperature alloys for advanced industrial gas turbines. Eng. Aerosp. Technol., 2001;73 (2):138~146
- 2 Zhang K M, Nahm A H. In: Rene 220:100°F improvement over alloy 718. Superalloy 718-metallurgy and applications, 1989: 631
- 3 Wlodek S, Field R D. The structure of Rene 220C. In: Superalloys 1992, 1992:477
- 4 Jones S M, Radavich D J, Tian S. Effect of composition on segregation microstructure and mechanical properties of cast alloy 718. In: Superalloy 718-Metallurgy and applications, 1989:589
- 5 Calson R G. Microstructural characterization of cast 718. In: Superalloy 718-metallurgy and applications, 1989:79

(编辑 马晓艳)