

# 长期时效对 DZ125 合金组织和性能的影响

北京航空材料研究所 王照虎

对定向凝固 DZ125 合金在 900℃ 进行了长达 3000h 的时效试验, 结果表明: 合金组织和性能基本稳定, 未出现 TCP 相, 这与相分计算预测结果一致。但时效 3000h 后的持久寿命略有降低, 这可能与  $\gamma'$  相的粗化有关。

## Influence of Prolonged Ageing on Microstructure and Mechanical Properties of Superalloy DZ125

Wang ZhaoHu

(Beijing Institute of Aeronautical Materials)

The long-term ageing of directionally solidified superalloy DZ125 at 900℃ for 3000 hours was examined. The results show that there is a stable microstructure and no TCP phase in agreement with the result of phase calculation. However, after ageing for 3000 hours, the stress-rupture life is slightly decreased, this may be related to the coarsening of  $\gamma'$  phase.

### 1 前言

定向凝固高温合金由于其高的力学性能和良好工艺性能而广泛用于各种燃气涡轮发动机。但是, 与普通铸造合金一样, 由于成分较复杂, 在高温下长期曝晒后往往会出现组织和性能不稳定的现象, 影响叶片的长期使用性能。本课题研究的 DZ125 合金是一种复杂合金化的高强度定向凝固合金, 可作为 1000℃ 以下工作的涡轮叶片材料。为了研究该合金的长期工作可靠性, 进行了本项试验。

### 2 实验方法

在 IS65V8 真空感应炉中熔炼母合金锭, 然后在 ISP2/Ⅲ-DS 定向炉中重熔浇注定向凝固试棒, 经过标准热处理后, 作为长期时效的试样。

将试样在 900℃ 下进行 1000h、2000h、3000h 的长期时效。

用光学显微镜和扫描电镜观察显微组织, 采用两种腐蚀剂, 一种是铁氰化钾 (10g) + KOH (10g) + H<sub>2</sub>O (100ml), 煮沸, 鉴定 TCP 相; 另一种是硝酸: 氢氟酸: 甘油 = 1: 2: 3, 用于观察一般组织。

采用渡边法<sup>[1]</sup>进行相分计算, 预测 TCP 相的析出倾

向, 并与实际观察结果相比较。

对 1000h、2000h、3000h 的试样按标准方法测试 980℃/220MPa 条件下的持久性能。

### 3 实验结果和讨论

#### 3.1 长期时效对显微组织的影响

DZ125 合金是含铈的定向凝固合金, 在其基本组织中, 除  $\gamma'$  基体和碳化物外, 最重要的是大量细小弥散分布的主要强化相  $\gamma'$  相, 另外还有一些微量相。经过长期时效后, 观察显微组织的情况如下:

900℃ 下各阶段时效后的试样的组织如图 1 所示。

从图 1 上看, 时效至 3000h, 仍未发现组织中有 TCP 相析出, 说明合金析出 TCP 相的倾向小。

采用渡边法<sup>[1]</sup>进行相分计算, 预测 TCP 相的析出倾向, 结果如表 1。

表 1 计算机相计算结果

$\gamma'$	$\gamma'$	$\gamma'$	$\gamma$	$\overline{Nv}$	
重量百分数	点阵常数	电子空位数	点阵常数	电子空位数	错配度
62%	3.587	2.281	3.583	2.208	0.004

$\overline{Nv}$  为 2.208, 根据文献<sup>[1]</sup>, 对于镍基高温合金, 当

$\bar{Nv} > 2.49$  时, 出现  $\sigma$  相;  $\bar{Nv} > 2.30$  时, 出现  $\mu$ 、Laves 相, 而本合金的  $\bar{Nv} < 2.30$ , 属于不应出现  $\sigma$ 、 $\mu$ 、Laves 相的范围, 故预测不应出现 TCP 相。这与实际观察结果是一致的。

这表明, 合金成分的选择是合理的。

#### (1) $\gamma'$ 相的变化

900℃下, 1000h、2000h、3000h 时效后,  $\gamma'$  相的变化情况与标准热处理后  $\gamma'$  相的变化情况比较如图 2。

从结果看, 随着时效时间的增加,  $\gamma'$  相有聚集长大的倾向。与标准态的  $\gamma'$  尺寸相比, 1000h 和 2000h 后逐渐出现了  $\gamma'$  相的合并现象, 伴随着尺寸的略微增大, 而 3000h 后的  $\gamma'$  已有明显的聚集长大现象。这是由于在高温保持过程中, 伴随着合金元素原子的扩散,  $\gamma'$  相发生缓慢的溶解和集结, 而且随着持续时间的延长, 原子扩散加剧,  $\gamma'$  相的聚集长大现象更加明显。所以  $\gamma'$  相的尺寸也会增大。

由于本合金主要靠  $\gamma'$  的弥散强化, 其颗粒尺寸的大小对合金的性能有明显的影响, 故  $\gamma'$  的聚集长大可能会引起合金的性能下降。

#### (2) 碳化物的变化

900℃下, 1000h、2000h、3000h 时效后的碳化物与标准热处理后碳化物的形态比较如图 3。

从结果看, 碳化物的形态经长期时效后有所变化。这是由于持续保温后, 在合金中部分 MC 碳化物由于与固溶体相互作用而转化为带  $\gamma'$  相镶边的  $M_{23}C_6$  碳化物, 即  $MC + \gamma \rightarrow M_{23}C_6 + \gamma'$ ,  $M_{23}C_6$  碳化物主要沿晶界析出, 但从图上看, MC 转化成  $M_{23}C_6$  只是一小部分, 故其对性能的影响不会太大。在显微组织上未发现  $M_6C$  型碳化物。

从以上所述的三种情况看, 可认为本合金经长期时效后, 组织基本稳定。

### 3. 2 长期时效对高温持久性能的影响

900℃长期时效后进行了 980℃/220MPa 仍然保持稳定。

上面谈到的 3000h 的持久性能试验, 并与标准热处理后的持久性能进行比较, 结果见图 4。

从图 4 可以看出, 在 900℃时效 1000h 和 2000h 后, 持久寿命与标准状态相当, 但 3000h 后的持久寿命比标准状态降低了 20% 左右, 从持久塑性来看, 时效至 3000h 的持久寿命有所降低 (与标准状态相比, 约降低了 20%), 这可能与  $\gamma'$  相的聚集长大有关。因为占合金总重量 60% 的  $\gamma'$  相是本合金最重要的强化相, 其形状、分布和尺寸对性能有直接影响。 $\gamma'$  相聚集长大使  $\gamma'$  相之间距离增大, 这有利于高温下位错穿越, 加速合金蠕变过程。所以对性能不利。从本实验结果来看, 虽然经

3000h 长期曝晒后持久寿命有所降低, 但仍保持在较高水平, 对合金长期使用不会有影响。

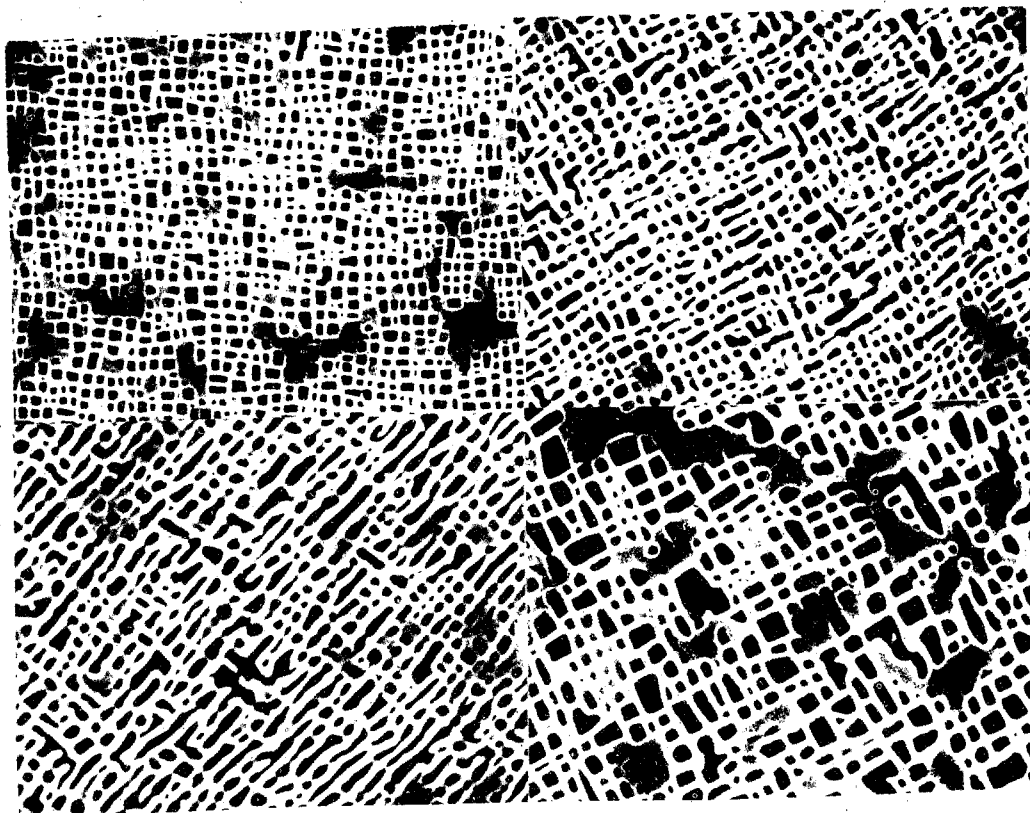
(a) 1000h (b) 2000h (c) 3000h

图 1 在 900℃时效不同时间后的组织 (光学照片 500×)

## 4 结论

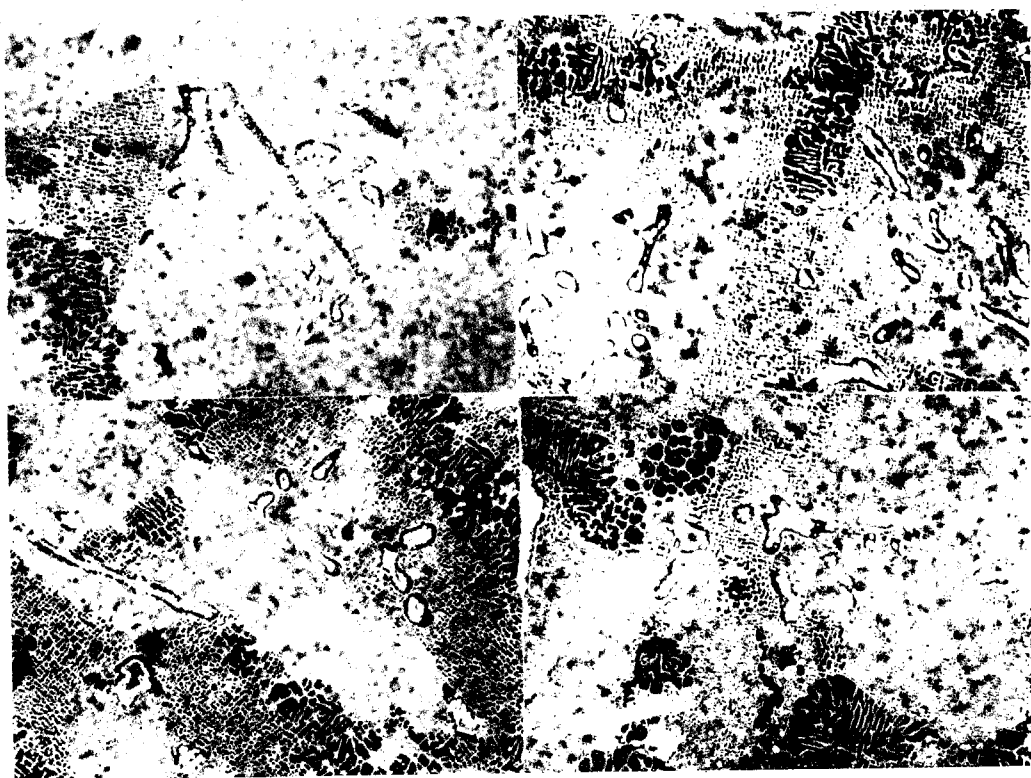
(1) DZ125 合金经长期时效后  $\gamma'$  相有聚集长大倾向。未发现 TCP 相, 这与相分计算结果一致。

(2) DZ125 合金经长期时效后  $\gamma'$  相有聚集长大现象, 未发现 TCP 相, 这与相分计算结果一致。



(a) 标准热处理 (b) 1000h (c) 2000h (d) 3000h

图2 标准热处理和900℃时效不同时间后 $\gamma'$ 相的变化(扫描照片 300 $\times$ )



(a) 标准热处理 (b) 1000h (c) 2000h (d) 3000h

图3 标准热处理和900℃时效不同时间后碳化物的形态(扫描照片 500 $\times$ )

(下转第18页)

1995年6期

对于较高凝固速率下, 由于冷却速率较大  $\gamma'$  的形核率增加<sup>[4]</sup>, 导致了  $\gamma'$  的细化, 枝晶轴和枝晶间的  $\gamma'$  均小于  $0.5\mu\text{m}$ , 使细小的  $\gamma'$  量增加, 将会对合金高温力学性能作出贡献。

#### (2) $(\gamma-\gamma')$ 共晶和 MC 型碳化物

图 3c、g 示出了两种凝固速率下 DZ22 合金  $(\gamma-\gamma')$  共晶的形态和大小。可以看出, 较低凝固速率下  $(\gamma-\gamma')$  共晶的尺度粗大, 形态为非常发达的菊花状, 边缘呈粗大的不规则的长条块状, 中心则呈非常细小的立方形; 较高凝固速率下的  $(\gamma-\gamma')$  共晶的尺度明显减小, 形态呈小扇形状和长条块状。两种凝固速率下 DZ22 合金的 MC 型碳化物的大小也有些减小, 如图 3d、h 所示。

根据合金的凝固顺序,  $(\gamma-\gamma')$  共晶是在后凝固区的晶界及枝晶间形成的一次相, 其大小、形态受后凝固区的化学成分和冷却速率所控制<sup>[4]</sup>。由于较低凝固速率下的冷却速率小, 导致枝晶组织粗大, 形成  $(\gamma-\gamma')$  共晶的条件充分, 使之成为形态完整的菊花状共晶体。对于较高凝固速率、枝晶明显细化, 局部凝固时间缩短, 其长大受时空条件制约, 导致  $(\gamma-\gamma')$  共晶只能沿一次枝晶轴的晶界和枝晶间形成小扇形状的共晶体。MC 型碳化物是合金在凝固期间析出的初生相, 其形态、大小和分布, 同样受时空条件所制约, 对于较高凝固速率下, MC 的尺度减小, 其分布只能沿一次枝晶轴的晶界和枝晶间。

### 4 结论

(1) 采用较高凝固速率, 大幅度地提高了定向凝固合金 DZ22 的高温持久性能, 与较高凝固速率相比,  $980^\circ\text{C}$ ,  $220\text{MPa}$  条件下的高温持久寿命由  $71\text{h } 50\text{min}$  增加到  $168\text{h } 5\text{min}$ , 提高了  $136\%$ 。

(2) 两种凝固速率 DZ22 合金的枝晶特性明显不同, 较高凝固速率的枝晶明显细化, 枝晶偏析得到抑制, 一次、二次枝晶臂间距  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  分别为  $68\mu\text{m}$  和  $16\mu\text{m}$ , 为较低凝固速率的  $64\%$  和  $48\%$ 。

(3) 两种凝固速率下 DZ22 合金的显微组织的形态、大小和分布具有显著的差异。在较高凝固速率下, 合金组成相  $\gamma'$ 、 $(\gamma-\gamma')$  共晶、MC 型碳化物均得到明显细化。

#### 参考文献

1. Chu Shunagie, Li Jiangao, Liu Zhongyuan, Shi Zhengxing, Fu Hengzhi, # FHO on Morphologies, Microsegregation, and Mechanical Behavior of Directionally Solidified Cobalt-Base Superalloy at

Medium Cooling Rate, # FKM. Trans. A, 1994, Vol. 25A, MARCH, 637-642

2. 刘忠元, 杨爱民, 李建国, 史正兴, 傅恒志, 镍基高温合金超细定向柱晶的凝固特性, 材料科学进展, 1992, 6 (6), 481~486
3. I. S. Miroshnichenko. Journal of Crystal Growth, 1979, 11, 344
4. 刘忠元, 余力, 陈荣章, 顾林喻, 凝固速率对定向凝固合金 DZ22 显微组织的影响, 航空学报, 1995, 16 (3)

\*\*\*\*\*

(上接第 24 页)

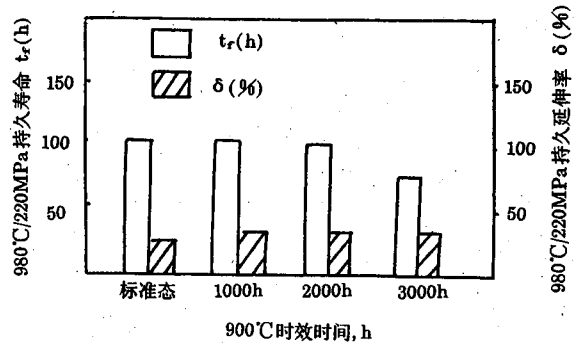


图 4 长期时效对持久性能的影响

#### 参考文献

1. 《航空材料学报》专题资料 (2), 苏联镍基铸造高温合金, P35~38
2. 《铸造高温合金论文集》, 1986, P94~107

\*\*\*\*\*

### 可重复利用的木制材料 MW-R

三泽住宅有限公司开发出一种用于室内装饰的可重复利用的木制材料, 这种材料由锯末和木屑等研磨后的粉末组成, 并能通过提取木粉然后将其恢复原状而重复利用。木粉用塑料粘合剂铸塑成型, 制成表面看来象天然木料的室内装修木料和家具。

传统再生木制材料一直由比纤维粗的碎屑制成, 而用于 MW-R 的木粉由  $1\sim 100\mu\text{m}$  的小颗粒组成。木粉与塑料粘合剂混合, 然后挤压成型, 其组份是耐热的, 因此挤压时木粉不会燃烧。这使得该复合木制材料可以做地板、墙壁、顶棚、门窗和家具等房屋部件的装饰面。这种复合材料与天然木材同样舒适、美观, 性能和质量优于木材且成本比传统装饰材料低  $20\sim 30\%$ 。

(祝)