

细晶铸造 K418B 合金热处理工艺研究

于保正, 汤鑫, 刘发信

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘要: 研究了不同热处理工艺与 K418B 合金细晶铸件组织和性能的关系, 结果表明, 合金组织中的 γ 相大小和晶界上次生碳化物的形态和分布对中温持久性能具有重要影响。提出了 K418B 合金细晶铸件合适的真空热处理制度为: 1180 / 2h, AC+ 930 / 16h, AC

关键词: 热处理; 细晶; K418B

中图分类号: TG146. + 5 文献标识码: A 文章编号: 1005-5053(2002)03-0013-03

具有细晶组织的高温合金铸件在中温区域具有优越的综合性能, 但细晶铸造工艺在细化铸件晶粒的同时, 使铸件内部产生了疏松。虽然应用热等静压工艺能成功地消除铸件内部的疏松, 提高铸件的致密度。但是由于国内现有的热等静压机没有快速冷却装置, 导致铸件显微组织中 γ 相重新析出和长大, 降低铸件的力学性能。为了使铸件最终的力学性能达到使用要求, 必须研究出合理的热处理制度, 调整并使热等静压后的铸件获得满足力学性能要求的显微组织。本文研究了不同热处理工艺与 K418B 合金细晶铸件组织和性能的关系, 并根据高温合金铸件热处理均在真空炉内进行的特点, 制订出 K418B 合金细晶铸件的真空热处理制度。

1 试验

1.1 试验用料

试验用合金为 K418B, 成分和性能符合 HB7239-95 要求。

1.2 试验方法

试验共分两个阶段进行。第一阶段采用空气炉加热的方法, 选取了五种热处理工艺方案(表 1), 对五种方案分别进行力学性能和显微组织研究。第二阶段根据第一阶段的试验结果, 优选出性能好的方案, 用真空炉进行验证和重复试验。

持久实验是在苏制 MM—30 型和仿苏 — 2 型持久强度实验机上, 按照 GB6395—86 标准实验方法进行, 采用电阻丝炉加热试样, 实验温度

误差 1%, 升到温度后保温 1h 加荷实验。低周疲劳实验是在美国 MTS809 电液伺服闭环回路 IBM 计算机编程控制材料实验系统上, 按照 GB/T 15248—94 标准方法进行, 用三段电阻丝炉加热试样, 实验温度误差 1%, 升到温度后保温 30 分钟加荷实验, 采取应变控制。拉伸实验是在英国 Instron1196 型电子拉力实验机上, 按照 GB6397—86、GB 4338—84 标准实验方法进行。

表 1 五种热处理工艺方案
Table 1 The five heat treatment technical systems

Project No.	Heat treatment technical systems
1	1180 / 2h, AC
2	1180 / 2h, AC+ 930 / 16h, AC
3	1180 / 2h, AC+ 850 / 24h, AC
4	1180 / 2h, AC+ 930 / 16h, AC+ 850 / 8h, AC
5	1180 / 2h, AC+ 850 / 24h, AC+ 930 / 8h, AC

2 试验结果

2.1 第一阶段的力学性能和金相组织

经第一阶段热处理方案处理后试样的力学性能分别见表 2, 金相组织见图 1。

从表 2 看出, 经方案 2、3 和 5 处理后试样的综合力学性能较好, 因此选择这三种工艺方案进行第二阶段真空热处理重复验证。有限的 980 高温持久性能数据说明, 细晶铸件在中低温区域

表 2 第一阶段力学性能

Table 2 Mechanical behavior of the first experiment period

Project No.	Stress rupture properties 750 , 590MPa			Stress rupture properties 980 , 150MPa			Low cycle fatigue life 650
	τ/h	$\delta/\%$	$\Psi/\%$	τ/h	$\delta/\%$	$\Psi/\%$	N / cycles
1	1.92	1.36	2.44	46.17	—	0.19	4913
2	118	4.8	3.3	26.17	20.8	22.25	11540
3	167.08	3.8	3.56	24.25	12.8	22.87	13027
4	49.08	2.0	2.28				2764
5	106.83	3.6	3.86				11838

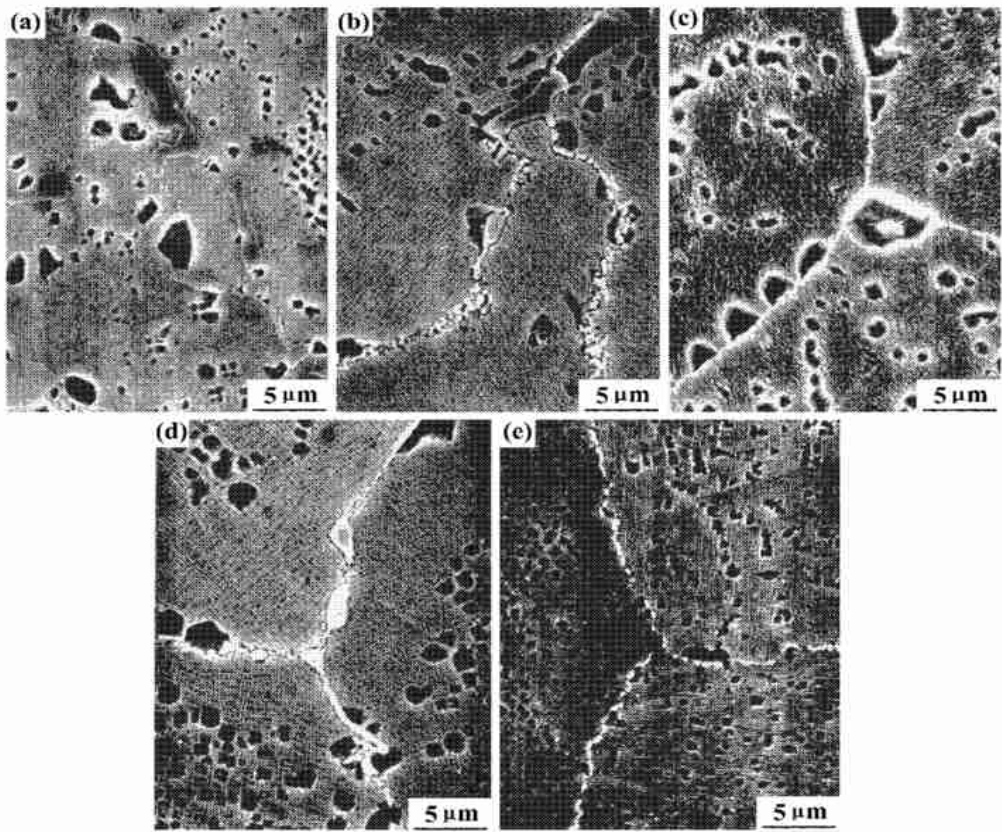


图 1 不同热处理制度的显微组织

Fig. 1 Sample microstructures of different heat treatment technical system (a) 1180 /2h, AC; (b) 1180 /2h, AC+ 930 /16h, AC; (c) 1180 /2h, AC+ 850 /24h, AC; (d) 1180/2h, AC+ 930 /16h, AC+ 850 /8h, AC; (e): 1180 /2h, AC+ 850 /24h, AC+ 930 /8h, AC

具有优异的综合性能, 但不宜在高温环境工作。

观察图 1 发现, 固溶加时效处理后(图 1(b), (c), (d), (e))合金组织中的合金组织中 γ 相普遍比固溶空冷(图 1(a))后析出的 γ 相大。经方案 2 (图 1(b)) 处理后, 可使试样在晶界上析出颗粒状 $M_{23}C_6$ 碳化物, 并且这种碳化物被一层 γ 相所包覆, 这些应该是提高中温性能有利因素。

2.2 第二阶段的力学性能和金相组织

经第二阶段热处理方案处理后试样的力学性能分别见表 3, 金相组织见图 2。

4 问题分析与讨论

从表 2 看出, 方案 1 细晶铸造 K418 合金经 1180 /2h 固溶处理并空冷后, 中温持久性能和

表3 第二阶段力学性能

Table 3 Mechanical behavior of the second experiment period

Project No.	Room temperature tensile properties				Stress rupture properties 750 , 590MPa			Low cycle fatigue life 650
	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	σ/MPa	$\delta/\%$	$\Psi/\%$	τ/h	$\delta/\%$	$\Psi/\%$	N/cycles
2	869	1127	10.8	13.9	140.33	3.7	4.5	13738
3	908	1154	10.2	13.0	136.58	2.5	4.7	12308
5	876	1131	10.8	12.3	156.42	3.2	4.2	12326

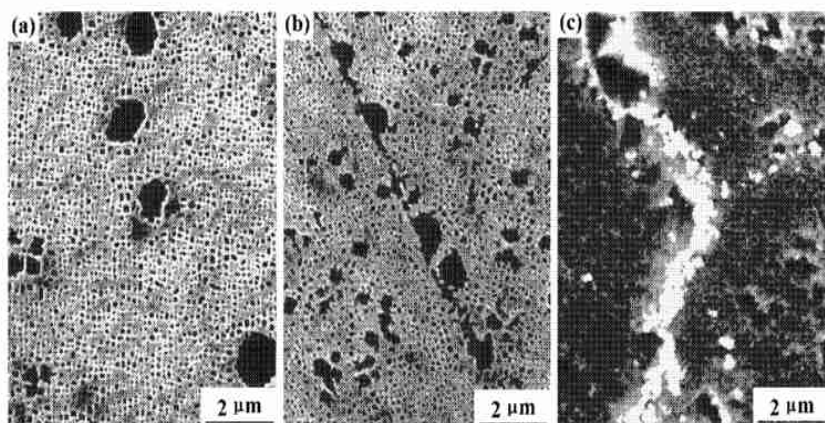


图2 不同真空热处理制度的显微组织

Fig.2 Sample microstructures of different vacuum heat treatment technical system

(a) 1180 /2h, AC+ 930 /16h, AC; (b) 1180 /2h, AC+ 850 /24h, AC; (c) 1180 /2h, AC+ 850 /24h, AC+ 930 /8h, AC

低周疲劳性能都很差。相反方案2, 3, 5经1180 /2h固溶处理后, 应用了不同制度的时效处理, 其750的持久性能均有较好的表现, 中温低周疲劳性能也很好。

观察图1发现, 单纯的固溶处理使 γ 相大量溶入基体, 空冷后析出的多是细小的 γ 相; 而经过时效处理后, 合金组织中 γ 相普遍比固溶空冷后析出的 γ 相更大。

分析不同热处理制度对细晶铸造K418B合金的750持久性能和组织的影响, 可以看到, 合金组织中大 γ 相, 对提高中温持久性能有利。此外870 ~ 900的时效可使晶界上析出颗粒状 $M_{23}C_6$ 碳化物(图1(b)), 这种碳化物被一层 γ 相所包覆, 对中温性能有利。而固溶处理使 γ 溶入, 同时也使 $M_{23}C_6$ 全部回溶, 使合金的中温持久性能变差。

表3所列的三种热处理方案的力学性能数据

相差甚小, 基本处于同一水平。以750的中温持久性能评价, 5[#]方案较好。但是2[#]方案的650低周疲劳寿命又好于其他两方案。从金相组织来比较, 方案2中, γ 相网格状分布好(图2(a)), 晶界状态是一种咬合晶界(图1(b))。而方案3和方案5的大 γ 相多(图2(b), (c)), 尤其方案5的晶界有些部位呈现薄膜状, 属于性能不好的晶界。三种方案种方案2的时效时间最短, 成本最低。

5 结论

(1) 合金组织中的 γ 相大小和晶界上次生碳化物的形态和分布对中温持久性能具有重要影响。

(2) K418B合金细晶铸件适宜的真空热处理制度是: 1180 /2h, AC+ 930 /16h, AC相大小和晶界上次生碳化物的形态和分布对中温持久性能具有重要影响。
(下转第21页)

electrical resistivity of recrystallized graphite by 25%, but more than 4wt% of dopant silicon hardly changed electrical resistivity of recrystallized graphite. For the orientation of graphite layers, the thermal conductivity of RG-Si-6 was 325W/(m·K) at room temperature. Microstructural analyses revealed that the degree of graphitization of recrystallized graphite and coherence length of L_a increased and layers spacing of microcrystalline of d002 decreased with increasing the silicon concentration. The degree of graphitization of recrystallized graphite was 94.3% and coherence length of L_a was 194nm when the amount of dopant silicon was 6wt% in the raw materials. XRD analysis indicated that silicon added to the carbon substrate was in the form of α -SiC. The catalytic mechanism of silicon dopant to accelerate the graphitization of carbon substrates could be explained by the mechanism of decomposition of the carbide.

Key words: thermal conductivity; electrical resistivity; dopant silicon; recrystallized graphite; microstructure

* * * * *

(上接第 15 页)

Heat treatment for fine-grain casted K418B superalloy

YU Bao-zheng, TANG Xin, LIU Fa-xin

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

Abstract: The relationship between different heat treatment technical system with the microstructure and the mechanical behavior of fine-grain casted K418B superalloy have been studied. It is found that the dimensions of γ phase as well as the shape and distribution of hypocarbide at grain boundary have an important influence on the mediums temperature stress rupture properties. The suitable vacuum heat treatment technical system has been suggested as 1180 /2h, AC+ 930 /16h, AC for fine-grain casted K418B superalloy.

Key words: heat treatment; fine grain; K418B