

热处理对喷射成形 GH742y 合金组织与性能的影响

Effect of Heat Treatments on Microstructure and Properties of Spray Formed Superalloy GH742y

袁 华, 李 周, 张国庆, 许文勇, 姚瑞平, 田世藩

(北京航空材料研究院 先进高温结构材料国防重点实验室, 北京 100095)

YUAN Hua, LI Zhou, ZHANG Guoqing,

XU Weirong, YAO Ruiping, TIAN Shifan

(National Key Lab of High Temperature Structural Materials,

Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

摘要: 研究不同的固溶温度热处理对变形喷射成形 GH742y 合金组织与性能的影响。结果表明: 喷射成形 GH742y 合金晶粒细小、成分均匀、无宏观偏析, 晶粒尺寸约 $35\mu\text{m}$ 左右, 固溶温度对其影响不大, 具有明显的晶粒抗长大性。 γ' 相的固溶温度为 1130°C , 不同固溶温度的热处理下, 主要强化相 γ' 析出的形状和大小不同, 对合金的力学性能影响不大, 不同热处理状态合金的屈服强度都在 1150MPa 左右, 而持久性能也普遍在 200h 。

关键词: 喷射成形; 高温合金; 热处理; 组织与性能; GH742y

中图分类号: TG132.32 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2008)01-0061-03

Abstract: The effects of different solution treatments on microstructure and properties of spray formed superalloy GH742y after forged were studied. The results showed that spray formed superalloy GH742y exhibited homogenous composition, segregation free and fine microstructure. The grain size was about $35\mu\text{m}$ and hasn't changed with increasing temperature. The solvus temperature of γ' phase was about 1130°C . The shape and size of γ' phase were different, but mechanical properties of GH742y did not change after different heat treatments. The yield strength and stress rupture time of the alloy reached 1150MPa and 200h respectively in different heat treatments.

Key words: spray forming; superalloy; heat treatment; microstructure and property; GH742y

GH742y 是一种性能水平和使用温度都很高的难变形涡轮盘合金。该合金与 GH742 合金相比, 在合金成份上做了一些调整, 提高了合金的室温强度和高温热强性。由于 GH742y 合金的合金化程度高、偏析严重、变形温度范围窄、变形抗力大, 在国内现有条件下, 采用传统的铸造变形工艺生产出 GH742y 涡轮盘锻件较为困难。而喷射成形是一种利用快速凝固方法制备高性能金属材料坯件的先进成型技术^[1-4], 使难变形高温合金常规锻造成为可能。本工作主要研究了热处理对喷射成形 GH742y 合金组织与性能的影响。

1 实验方法

真空感应熔炼母合金锭坯, 在雾化沉积装置中真空感应重熔并喷射成形制备出 GH742y 合金沉积坯。随后对沉积坯进行热等静压处理和热变形, 制备成喷射成形 GH742y 合金锻坯。热等静压的工艺参数为:

$1150^\circ\text{C}/4\text{h}/150\text{MPa}$, 随炉冷却。热变形是在水压机上一次墩饼成形, 变形量为 45%。

在锻坯上分别取金相和性能试样, 金相试样分别进行 ($1100, 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160^\circ\text{C} \times 4\text{h}$) 固溶热处理, 水淬, 经磨光、抛光、腐蚀后, 其组织观察与分析分别在 MIM-8 光学金相显微镜、JSM5600LV 扫描电镜和 JEM 2000FX 透射电镜上进行。力学性能试样, 进行不同固溶温度 ($1100, 1120, 1140, 1160, 1180, 1200^\circ\text{C}$) 的热处理, 再经过相同的时效处理, 分别测试 GH742y 合金的室温拉伸和 $750^\circ\text{C}/588\text{MPa}$ 持久等力学性能。

2 结果与讨论

2.1 GH742y 合金的组织

图 1a 为沉积坯的锻态组织照片, 晶粒比较细小, 晶粒尺寸约为 $35\mu\text{m}$ 。图 1b 为沉积坯的 $1200^\circ\text{C} \times 8\text{h}$

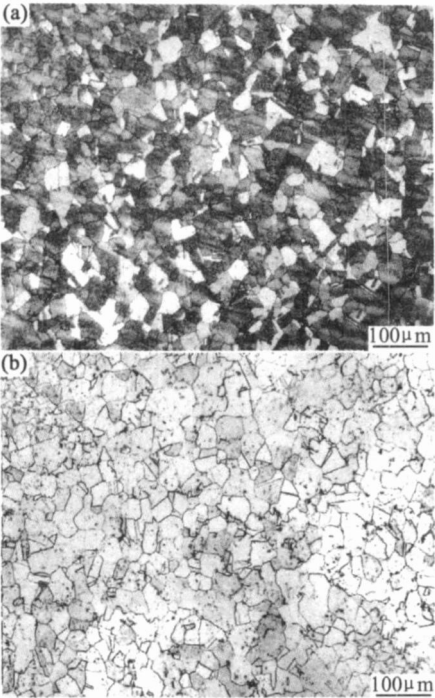


图1 GH742y 合金变形后(a)及 1200℃固溶处理(b)晶粒照片
Fig. 1 Grain size of superalloy GH742y after forging (a) and 1200℃ solution treatment (b)

固溶组织照片。图 2 为固溶热处理温度对晶粒尺寸的影响。随固溶温度的升高,合金的晶粒尺寸没有发生明显的变化,这是由于喷射成形快速凝固作用在合金中形成了一定量细小(亚微米)碳化物、碳氮化合物等第二相,这些第二相对于沉积坯在高温固溶热处理时

的晶界移动起到钉扎作用^[5]。因此,喷射成形 GH742y 合金具有良好的晶粒抗长大性。通常对于高温合金而言,固溶处理有两个目的,一是在冷却过程和塑性变形过程中析出的碳化物相或粗大的 γ' 强化相尽量溶入基体中,以得到单相组织,为以后的时效沉淀析出均匀细小的强化相做准备;另一个目的就是要获得合适晶粒尺寸^[6]。显然,单纯的喷射成形 GH742y 合金的固溶热处理并不能满足第二个目的。

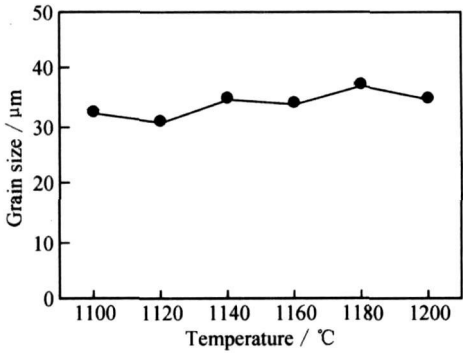


图 2 不同固溶热处理对晶粒尺寸的影响
Fig. 2 Influence of solution heat treatments on grain size

高温合金主要依赖于第二相的强化^[7], γ' 相成为高温合金的主要强化相。图 3 是 γ' 相在 1120, 1130, 1140 °C 固溶的扫描图片。在 1120℃温度热处理后仍可看到较为明显的 γ' 相,而 1130℃以上温度热处理后的试样只能见到细小的 γ' 相,经 TEM (见图 4) 观察可知,所存在的相主要为 MC 碳化物,因此,喷射成形

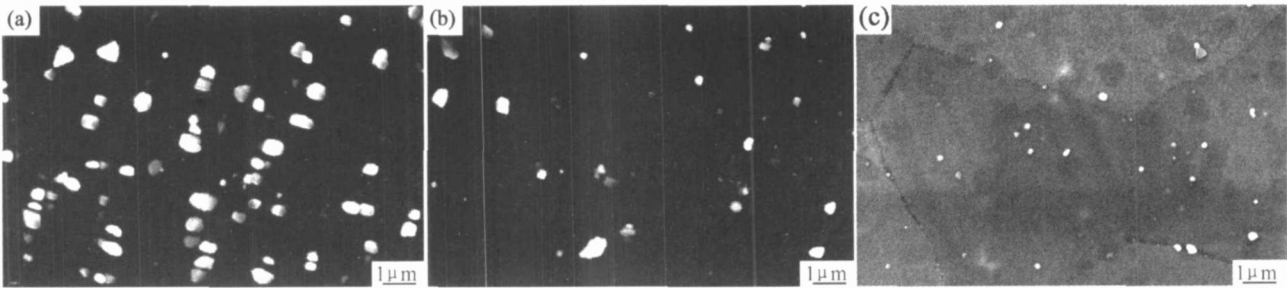


图 3 不同固溶温度下的 γ' 相 SEM 照片 (a) 1120℃; (b) 1130℃; (c) 1140℃
Fig. 3 Photos of the γ' phase of different solution temperature (a) 1120℃; (b) 1130℃; (c) 1140℃

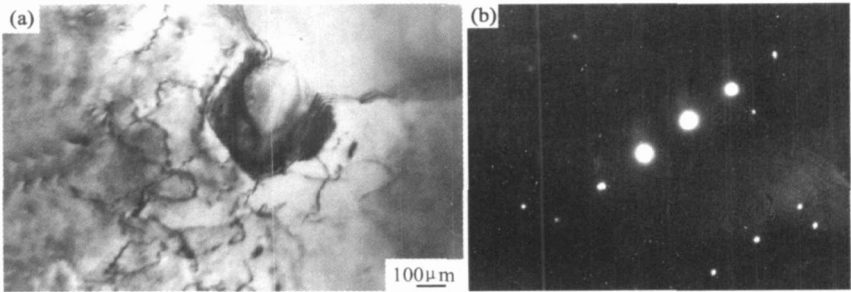


图 4 GH742y 合金 TEM 明场像(a)及其电子衍射斑点(b)
Fig. 4 TEM micrographs showing morphology of superalloy GH742y(a)and its SADP(b)

GH 742y 合金的 γ' 相固溶温度约为 1130℃。图 5 为不同固溶温度热处理后的喷射成形 GH 742y 合金的 γ' 相组织照片。在 1100℃和 1120℃固溶热处理, 合金中的 γ' 相没有完全回溶。这部分保留下来的 γ' 相尺寸相对较大(约 2 μm), 且主要分布在晶界上(见图 5a, b), 而随后冷却和一次时效形成的 γ' 相, 尺寸相对较小, 多数为 300nm 左右, 为方块状, 二次时效析出一些更为细小的 γ' 相, 为球状, 量较少, 且

主要分布在晶内, 这样就形成了三种尺寸 γ' 相的组织, 而 1120℃固溶热处理的 γ' 相含量略微少于 1100℃固溶热处理的 γ' 相。1140, 1160, 1180℃和 1200℃固溶热处理, γ' 相已完全回溶, 相同的冷却方式和一次时效热处理, 形成了尺寸相近的 γ' 相(见图 5c- f)。它们的尺寸多数在 100nm 左右, 还有二次时效形成的少量的更为细小的 γ' 相, 远远小于 1100℃和 1120℃固溶热处理的, γ' 相数量较多, 形状为球状和类球状。

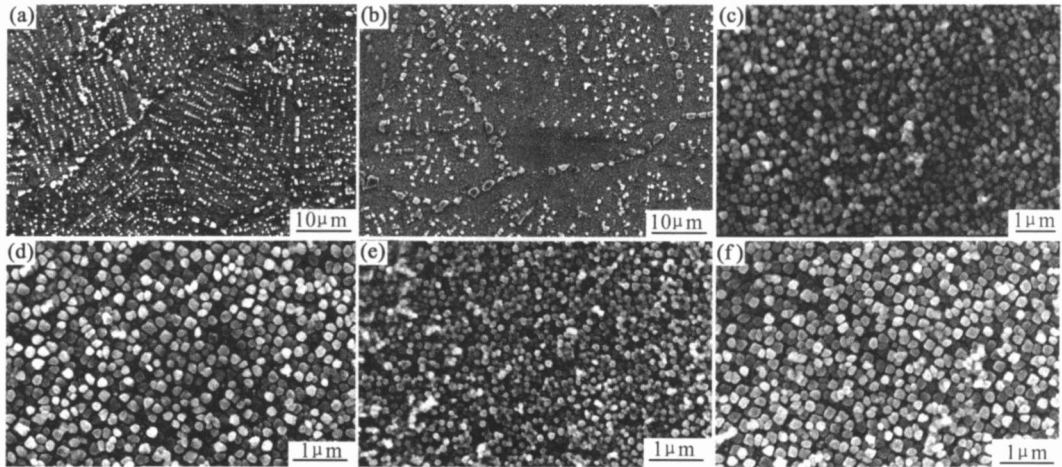


图 5 不同制度热处理后的 γ' 相 SEM 照片
(a) 1100℃; (b) 1120℃; (c) 1140℃; (d) 1160℃; (e) 1180℃; (f) 1200℃
Fig. 5 Photos of the γ' phase of different heat treatments
(a) 1100℃; (b) 1120℃; (c) 1140℃; (d) 1160℃; (e) 1180℃; (f) 1200℃

2.2 不同热处理对合金性能的影响

表 1 为不同固溶温度热处理的室温拉伸性能, 可以看出, 喷射成形 GH 742y 合金的室温拉伸性能明显优于标准的性能, 而且不同温度的固溶热处理对合金的性能影响不大, 所有试样的屈服强度都超过了标准值约 30% 左右, 并有着非常好的塑性。表 2 列举了不同固溶温度热处理制度下, 合金在 750℃/588MPa 下的持久性能, 可以看出, 合金在各种状态下的持久时间都超过了标准的要求。

并没有长大, 仍是均匀细小的等轴晶粒, γ' 相的数量虽然差异较大, 但总量都比较多, 其大小对性能影响也随之减小, 细小的碳化物、氮化物也起到了强化作用。这些都促使不同热处理后合金的组织对合金综合性能的影响趋势的减小。

表 2 不同固溶温度处理的高温持久性能

Table 2 High temperature stress rupture properties of different heat treatments

Heat treatment		Stress rupture time / h
1100℃×8h	850℃×6h+ 780℃×16h	218
1120℃×8h		216
1140℃×8h		252
1160℃×8h		213
1180℃×8h		258
1200℃×8h		173
Standard		100

3 结论

(1) 喷射成形 GH 742y 合金组织均匀, 晶粒细小,
(下转第 67 页)

喷射成形GH 742y 合金不同热处理后晶粒尺寸

表 1 不同固溶温度热处理的室温拉伸性能

Table 1 Room temperature tensile properties of different heat treatments

Heat treatment	$\sigma_{0.2}$ / MPa	σ_b / MPa	δ_5 / %	ψ / %
1100℃×8h	1150	1531	23.5	34.8
1120℃×8h	1154	1521	18.8	26.3
1140℃×8h	1156	1554	20.4	29.1
1160℃×8h	1166	1555	21.2	26.5
1180℃×8h	1152	1551	19.2	23.5
1200℃×8h	1125	1542	22.0	30.2
Standard	883	1275	14	14

degassing treatment for molten magnesium [J]. Light Metals, 1976, 26(6): 266– 272.

[6] BAKKE P, LAURITZEN J L, ENGH T A, et al. Hydrogen in magnesium absorption, removal and measurement [J]. Light Metals, 1991, 1015– 1023.

[7] MIKUCKI B A, SHEAROUSE III J D. The effects and removal of hydrogen gas in AZ91 alloy [J]. IMA, 1993, 62– 73.

[8] 胡中潮, 张二林, 曾松岩. 铸造镁合金旋转喷吹除气的试验研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2006, 26(3): 139– 141.

[9] XU Sixiang, WU Shusen, MAO Youwu, et al. Establishment of a hydrogen measurement system for magnesium alloy melt [J].

Trans Nonferrous Met Soc China, 2006, S3: 1677– 1680.

[10] 杨长贺, 曹兴言, 王甲运, 等. 多孔吹头通 Ar 精炼铝合金液的生产试验研究 [J]. 大连工学院学报, 1982, 21(4): 125– 131.

[11] 陆树逊, 顾开道, 郑来苏. 有色铸造合金及其熔炼 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1983.

收稿日期: 2006-11-08; 修订日期: 2007-08-16

作者简介: 许四祥(1974—), 男, 博士研究生, 主要从事镁合金测氢方面的研究, 联系地址: 安徽工业大学机械工程学院(243002)。E-mail: xur sixiang2001@163.com

(上接第 63 页)

晶粒度在 ASTM6 级左右, 具有明显的晶粒抗长大性, γ' 相固溶温度约为 1130℃, 不同固溶热处理下合金 γ' 相的尺寸和形状不同。

(2) 不同固溶热处理对合金的性能影响不大, 不同热处理状态试样的屈服强度都高于标准值 30% 左右, 持久性能都符合标准 100h 的要求。

参考文献

[1] 李周, 袁华, 张国庆, 等. 喷射成形 GH742y 合金的组织与性能 [J]. 钢铁研究学报, 2003, 15(7): 679– 682.

[2] 袁华, 张国庆, 李周, 等. 难变形高温合金喷射沉积工艺对微观组织与力学性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2005, 15(special 2): 44– 47.

[3] WHITTON E D, GRANT P S, BRYANT D. Microstructure evolution in spray formed In718 nickel superalloy [A]. Proceed

ings of the Third International Conference on Spray Forming [C]. U K: Paul Ellerington Printers, 1996. 89– 99.

[4] PARK N K, KIM I S, NA Y S, et al. Hot forging of a nickel base superalloy [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 111: 98– 102.

[5] 刘仲武, 米国发, 田世藩, 等. 氮气雾化喷射沉积变形镍基高温合金 [J]. 中国有色金属学报, 1999, 9(suppl. 1): 100– 105.

[6] 黄乾尧, 李汉康. 高温合金 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000. 18– 25.

[7] 蔡玉林, 郑运荣. 高温合金的金相研究 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1986. 93– 96.

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2006AA03Z114)

收稿日期: 2007-04-11; 修订日期: 2007-10-18

作者简介: 袁华(1979—), 男, 工程师, 主要从事高温合金方面的研究工作, 联系地址: 北京 81 信箱 1 分箱(100095)。E-mail: hua. yuan@br am.ac.cn

《航空科学技术丛书》出版进展

中国航空学会和国防工业出版社联合组织策划的《航空科学技术丛书》是一套反映中国航空科学技术最高水平的大型科技丛书。

该丛书从前期策划到具体实施, 受到了中国人民解放军总装备部、空军装备部、国防科工委、中国一航、中航二集团等部门的鼎力支持和北京航空航天大学、南京航空航天大学、西北工业大学、中国民航学院及航空科研院所等科研机构的大力协助, 得到了业界的热烈响应, 这有力地确保了《丛书》出版工作的顺利进行。

该项目于 2005 年启动, 同期组成了以中国航空学会刘高倬理事长为主任, 包括十几名“两院”院士及在航空技术领域具有较大影响力的专家学者的、具有较高学术水平和丰富实践经验的丛书编委会。编委会在成立之初就对丛书出版的宗旨、意义、指导思想和覆盖领域等方面进行了统一规划和顶层设计, 为丛书编辑出版工作起到了提纲挈领的指导意义。3 年来, 编委会结合近年来专业领域内重大科研课题和研究成果, 提出了一些具有较高专业水平和较强针对性的选题, 有效地保证了丛书的学术层次。相关院校、研究所、制造厂和基地的一线专家也对此丛书表现出了积极的写作热情和热切的期待。

国防工业出版社以“传播科技知识, 为国防现代化服务”为己任, 把该丛书作为社“十一五”规划重点图书, 在编辑出版过程中, 秉承一贯的“三高”特色, 从编校、版式、封面到装帧各个工序都给予了足够的重视, 严把质量关, 力争打造一套精品丛书。另外, 国防科技图书出版基金对该丛书的出版给予了经费支持。目前, 该丛书已有 3 本专著出版, 分别是:《航空燃气轮机燃油喷嘴技术》、《飞行器结构优化设计》、《航空用引射混合器》。另有 6 本著作已列选并正在出版当中, 分别是:《直升机发动机的进气防护》、《直升机复合材料结构设计》、《燃气轮机燃烧室》、《机载数据总线技术及其应用》、《航空个体防护技术及装备》、《空气动力模拟试验光学测量方法》。