

锻造工艺及热处理参数 对 GH738 合金环形锻件组织均匀性的影响

邵清安, 李晓光, 国振兴, 赵兴东, 王健妍, 徐强
(沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司, 沈阳 110043)

摘要: 对同一炉材料实施2种不同轧环锻造过程,而后在锻态下进行了1020℃/4h,1040℃/4h固溶处理,以及845℃/4h稳定化和760℃/16h时效处理。通过对组织变化的对比,分析了锻造工艺和热处理参数对GH738合金环形锻件组织均匀性的影响规律。结果表明:不同锻造工艺对GH738合金环形锻件各部位的组织均匀性的影响不大,2种工艺均可获得均匀的组织,但其晶粒度等级有所不同;较低的固溶温度(1020℃)更有利于提高GH738合金环形件的组织均匀性,较高的固溶温度(1040℃)使得合金的混晶现象更明显。

关键词: GH738合金; 环形锻件; 组织均匀性

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.06.002

中图分类号: TG316

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2013)06-0007-04

Effects of Forging Technology and Parameters of Heating Treatment on the Microstructure Uniformity of GH738 Ring Part

TAI Qing-an, LI Xiao-guang, GUO Zhen-xing, ZHAO Xing-dong, WANG Jian-yan, XU Qiang
(Shenyang Liming Aero-Engine (Group) Co., Ltd., Shenyang 110043, China)

Abstract: Two different processes of ring forging were carried out with the material in the same heat. Solution treatments under 1020℃ for 4 h and 1040℃ for 4 h, stabilization under 845℃ for 4 h and aging treatments under 760℃ for 16 h were conducted subsequently. Through the microstructure comparison, effects of forging technology and parameters of heating treatment on the microstructure uniformity of GH738 alloy ring parts were analyzed. The results showed that forging technology had little effect on the microstructure uniformity of GH738 alloy ring parts, homogeneous microstructures could be obtained by the two technologies, but the scales of grain size were different, besides, lower temperature of solution treatment (about 1020℃) was beneficial to the improvement of microstructure uniformity, higher temperature (about 1040℃) more easily led to the occurrence of mixed crystals phenomenon.

Key words: GH738 alloy; ring forging part; microstructure uniformity

GH738合金是以 γ' 相(质量分数为20%)沉淀硬化的镍基难变形高温合金,因含有较高的Co(质量分数为13.5%)、Cr(质量分数为19.5%)元素而具有良好的耐燃气腐蚀性和疲劳性能、较高的屈服强度以及理想的蠕变性能,该材料在国外被广泛用

于燃气轮机和航空发动机730℃涡轮盘、紧固件等承力部件,以及要求815℃抗蠕变和抗氧化的封严环等部件。GH738合金锻造过程中易出现开裂现象,变形参数不易控制,标准热处理后经常产生混晶组织。美国空军材料研究所 Andrew H. Rosenberger

和美国匹兹堡大学 Mandy L. Brogdon 两位学者对 ASTM 7 级及 ASTM8.5 (ALA ASTM2) 级两种 GH738 合金晶粒组织形态的室温拉伸、低循环疲劳、裂纹扩展等方面进行了研究。结果表明,尺寸较大的晶粒能有效提高 GH738 合金的边界疲劳性能。在 GH738 合金中单个大晶粒或者成列排布的团簇是裂纹萌生的优先取向。由单个大晶粒引发的裂纹将导致断裂。由于成列排布的团簇晶粒可视为单个晶粒,其对裂纹发生的作用与单个大晶粒相似^[1]。因此,研究锻造工艺及热处理制度对 GH738 合金组织均匀性的影响尤为重要。

1 实验

1.1 材料

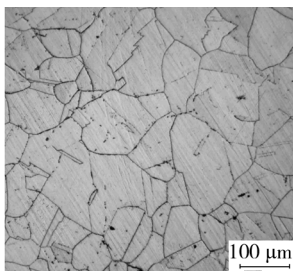
实验用料取自同一炉号的 2 支 GH738 合金棒材,其化学成分见表 1。

表 1 GH738 棒料的化学成分(质量分数,%)

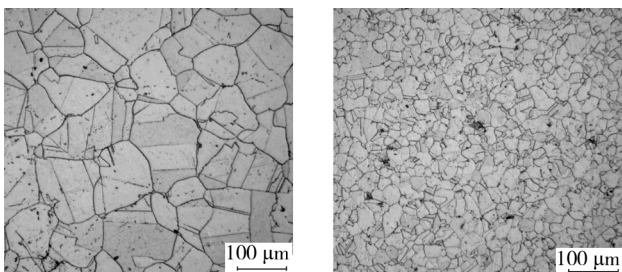
Table 1 Chemical composition of GH738

C	S	P	Mn	Cr	Mo	Al	Ti
0.037	0.001	<0.015	<0.10	18.30	4.27	1.37	2.84
Fe	Co	Cu	Zr	Si	B	Pb	
1.06	12.77	0.01	0.06	0.066	0.008	0.0001	

棒材的规格为 $\phi 300$ mm,各部位的微观组织见图 1。



a 中心处



b 1/2半径处

c 表面

图 1 棒材各部位的微观组织

Fig. 1 Microstructures at different positions of the bar

1.2 锻造工艺

工艺 A:环形件采用棒材镦并冲孔(1250 t 水压机)、预轧(1.8 m 径轴向轧机)、终轧(1.8 m 径轴向轧机,壁厚变形 $\varepsilon=0.25 \sim 0.3$);锻后空冷。

工艺 B:环形件采用棒材软包套镦并(1600 t 水压机)、车孔、马扩(3 t 锤)、终轧(2.5 m 径轴向轧机,壁厚变形 $\varepsilon=0.25 \sim 0.3$);锻后缓冷。

工艺 A、B 的加热参数、终轧设计变形量基本相同,但锻造工艺有所不同。

1.3 热处理

从按工艺 A、B 制造的环形件上切取相同截面厚度的材料,分别进行 1020 $^{\circ}\text{C}/4$ h, 1040 $^{\circ}\text{C}/4$ h 固溶处理,以及标准的 845 $^{\circ}\text{C}/4$ h 稳定化和 760 $^{\circ}\text{C}/16$ h 时效处理,然后取每个截面的 9 个不同部位(见图 2)腐蚀后进行金相分析,然后进行晶粒度评级。

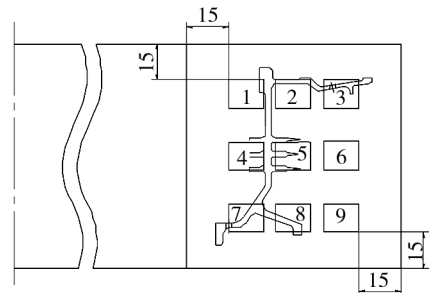


图 2 金相取样位置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of sample positions

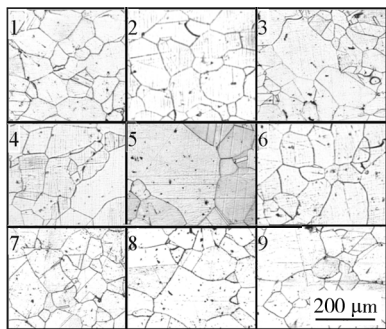
2 结果分析

2.1 结果

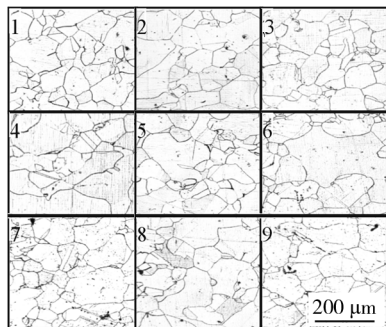
锻态金相组织见图 3。1020, 1040 $^{\circ}\text{C}$ 保温 4 h 固溶热处理,后经 845 $^{\circ}\text{C}$ 保温 4 h 稳定化以及 760 $^{\circ}\text{C}$ 保温 16 h 时效后的金相组织分别见图 4—5。

2.2 结果讨论与分析

从图 1 可以看出,棒材外圆处的晶粒细小均匀,基本为 ASTM6 ~ 8 级(20 ~ 50 μm),表明变形和再结晶充分;1/2 半径处与心部组织较粗,但大体均匀,晶粒在 ASTM3 ~ 4 级(80 ~ 120 μm)左右,该处残存了一些孪晶,变形和再结晶不够充分。根据 1.2



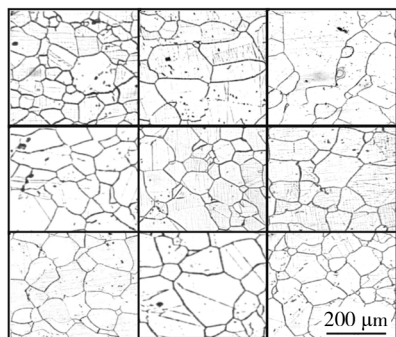
a 工艺A



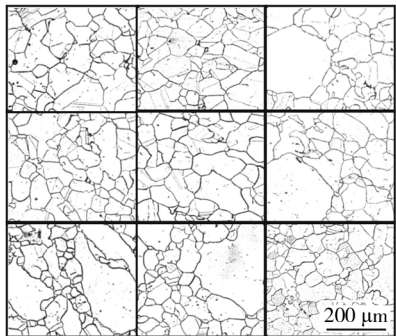
b 工艺B

图3 环件锻态的组织演化

Fig. 3 Microstructure evolution under two kinds of technology



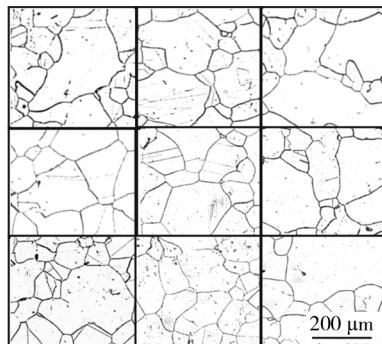
a 工艺A



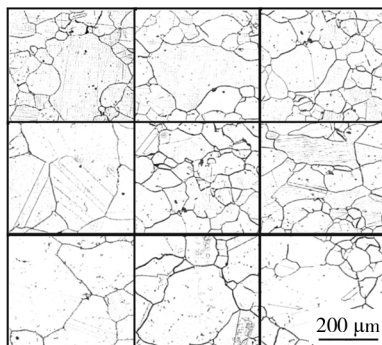
b 工艺B

图4 1020 °C固溶和标准时效热处理条件下的组织演化

Fig. 4 Microstructure evolution under two kinds of technology with 1020 °C solution treatment and standard aging treatment



a 工艺A



b 工艺B

图5 1040 °C固溶和标准时效热处理的组织演化

Fig. 5 Microstructure evolution under two kinds of technology with 1040 °C solution treatment and standard aging treatment

章节中工艺 A 和 B 给出的环形锻件的成形过程,心部材料在锻并后冲孔时或车孔时被切除的特点,该处组织对锻件无影响,在此不作过多分析;1/2 半径处最终成为环形锻件内壁,如图 2 中位置 1,4,7,外圆成为环形锻件外壁,如图 2 中位置 3,6,9。由于取样距边缘距离 15 mm,避开了因表面降温而造成的热影响区,因而也基本排除了棒材表面细晶区的影响,因此各部位晶粒基本均匀。从表 3 锻态晶粒大体呈等轴状态分析,较高的停锻温度和较小的锻后冷却速率(空冷或缓冷)使 GH738 合金环锻件基本完成动态再结晶,晶粒尺寸平均在 ASTM3 ~ 4 级(80 ~ 120 μm)左右,仅个别晶粒超过 200 μm,且 2 种锻造工艺锻态晶粒无明显差异。

由图 4 与图 5 可以看出,1020 °C 固溶和标准时效热处理与 1040 °C 固溶和标准时效热处理相比较,前者热处理后的晶粒较粗大,混晶现象更为明显;两种锻造工艺相比较,工艺 B 比工艺 A 混晶现象更为明显。1020 °C 固溶热处理并标准时效热处理的晶粒度约为 ASTM4 级(80 μm),区别在于 B 工艺较多

部位存在近 175 μm 的少量大晶粒(ALA ASTM2), 而 A 工艺仅存在于局部。而 1040 $^{\circ}\text{C}$ 固溶热处理和标准时效热处理条件下的锻件晶粒尺寸约为 ASTM3.5 级(100 μm), 2 种锻造工艺下较多部位都存在 200 μm 左右的大晶粒(ALA ASTM1.5)。

锻造过程和随后的冷却是动态再结晶与回复的过程, 固溶热处理是静态再结晶的过程, 该 2 种工艺过程都对锻件最终的组织产生了重要影响。2 种锻造工艺比较, 由于 B 工艺存在 3 t 锤马扩这一相对不稳定因素, 锻件各部位温度与变形量存在一定差别, 在随后的终锻和冷却过程中未能完全消除其影响, 动态再结晶不够充分时, 残存的变形能使得这些地方的晶粒优先长大, 在后续的热处理过程中可能吞并临近的晶粒, 造成局部生成 175 ~ 200 μm 左右的大晶粒。

除 γ' 相外 GH738 合金还含有少量 M23C6^[2], γ' 相的溶解温度为 950 ~ 1050 $^{\circ}\text{C}$, M23C6 相完全溶解温度为 1020 $^{\circ}\text{C}$ ^[3]。因此在 1020 $^{\circ}\text{C}$ 固溶处理时, γ' 相部分溶解, M23C6 相完全溶解, 晶粒长大的阻碍作用明显降低, 晶粒开始长大; 在 1040 $^{\circ}\text{C}$ 固溶处理时, M23C6 相和 γ' 相均完全溶解, 晶粒尺寸更加明显(约 100 μm , ASTM3.5 级)。由于 B 工艺变形和温度的不均匀性, 部分动态再结晶晶粒并未长大, 使得该工艺条件下的组织的均匀性较 A 工艺差。因此, 较低的固溶温度可以提高 GH738 合金锻件的组织均匀性。

3 结论

1) 不同锻造工艺对 GH738 合金环形锻件各部位的组织均匀性的影响不大, 环形件 1/2 半径处和外表面上均获得了均匀的组织, 但 2 种不同锻造工艺获得的晶粒度存在一定差别。

2) 较低的固溶温度(1020 $^{\circ}\text{C}$)更有利于提高 GH738 合金环形件的组织均匀性, 较高的固溶温度(1040 $^{\circ}\text{C}$)使得合金的混晶现象更明显。

参考文献:

- [1] BROGDON M L, ROSENBERGER A H. Evaluation of the Influence of Grain Structure on the Fatigue Variability of Waspaloy [M]. Wiley: Superalloys, 2008.
- [2] 黄乾尧. 高温合金 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 11-18.
HUANG Qian-yao. Superalloys [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2000: 11-18.
- [3] 黄建新. GH4169 高温合金主要相分析 [J]. 兵器材料科学与工程, 1993, 16(2): 51-55.
- [4] 曲敬龙, 杜金辉, 毕中南, 等. 等温锻造工艺对 GH4720Li 合金盘锻件组织的影响 [J]. 钢铁研究学报, 2012(2): 49-53.
QU Jing-long, DU Jin-hui, BI Zhong-nan, et al. Effect of Isothermal Forging on Microstructure for Superalloy GH4720Li Disc [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2012(2): 49-53.
- [5] 金泉林. 大型锻件的本构关系 [J]. 塑性工程学, 2012, 24(5): 1-10.
JIN Qun-lin. Constitutive Relation for Huge Forgings [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2012, 24(5): 1-10.
- [6] 王广春, 管婧, 赵国群. 锻造成形微观组织优化建模及应用 [J]. 塑性工程学, 2012, 24(5): 49-53.
WANG Guang-chun, GUAN Jing, ZHAO Guo-qun. Modeling and Application of Microstructure Optimization in Forging Process [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2012, 24(5): 49-53.