

GH4169 合金近等温锻造

Near-Isothermal Forging of GH4169 Alloy

西北工业大学材料与工程学院
红原航空锻铸工业公司

宁永权 姚泽坤 岳太文 郭鸿镇
魏迎光 田军强

[摘要] 对 GH4169 合金进行近等温锻造试验,结果表明:近等温锻造 GH4169 合金微观组织和拉伸性能对温度场敏感高,对变形量和应变速率不敏感,有利于 GH4169 合金近等温加工成形。

关键词: 近等温锻造 GH4169 合金 拉伸性能 间隙相

[ABSTRACT] The near-isothermal forging experiment of GH4169 alloy is carried out. The results show that the microstructure and tensile properties have high sensitization to the temperature pattern, but low sensitization to the deformation and strain rate, which is benefit to the near-isothermal forming of GH4169 alloy.

Keywords: Near-isothermal forging GH4169 alloy Tensile properties Interstitial phase

近等温锻造工艺的发展很大程度上受到了模具材料高温强度的限制^[1-3]。然而,近等温锻造在降低模具温度的条件下也降低了模具的高温强度。这是既保持了合金良好的充填能力,又避免等温锻造试样中的混晶组织以及晶粒过分长大的缺陷,同时降低生产成本的一种新型锻造工艺。在近等温锻造过程中严格控制模具与试样的温度梯度分布,促进晶界间隙相在整个成形过程中充分、合理地析出,控制锻件晶粒,进而提高锻件性能。

GH4169 合金是以体心四方的 $\text{Ni}_3\text{Nb}(\gamma')$ 和面心立方的 $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti}, \text{Nb})(\gamma')$ 沉淀强化的镍基高温合金,由于该合金具备优异的综合力学性能,广泛应用于制造航空发动机涡轮盘、轴和承力环等受力件^[4-7]。等温锻造该合金容易出现晶粒度粗细不均,形成所谓混晶组织,影响锻件的力学性能;同时等温锻造模具成本较高。本课题研究在不同温度场条件下近等温锻造工艺参数对 GH4169 合金组织和拉伸性能的影响,丰富近等温锻造理论。

1 试验材料及方法

试验材料是由红原航空铸锻工业公司提供的美

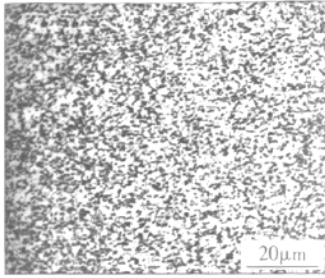
国卡本特(CARPENTER)公司生产的 GH4169 高温合金,炉号为 408627,锭节号为 3X-3。生产方法为电渣重熔+真空自耗,主要化学成分如下(质量分数/%): 23.62Fe; 19.09Cr; 2.96Mo; 0.51Al; 0.95Ti; 4.95Nb; 0.03Cu; 0.27Co; 0.002 OS; 0.000 2Ca; 0.06Mn; 0.11Si; 0.004P; 0.03C; Ni 基。

将原始坯料用线切割成尺寸为 $\phi 55\text{mm} \times 24\text{mm}$ 的小坯料,在 6 300kN 液压机上进行近等温锻造(模具温度 920℃,应变速率 $10^{-2}/\text{s}$),锻后采用固溶+双时效热处理,其规范为: <700℃入炉,升至 850℃保温 1h,再升至 950℃保温 1h,空冷; 720℃保温 8h 后,以每小时降 50℃的速度降至 620℃保温 8h,空冷(双时效)。化学腐蚀后观察金相组织并照相。最后,将热处理后的坯料机械加工成为拉伸试样,根据 HB5743-93 进行室温和 650℃拉伸试验。

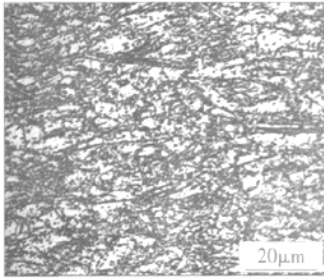
2 试验结果分析

2.1 近等温锻造组织和拉伸性能对温度场的高敏感性

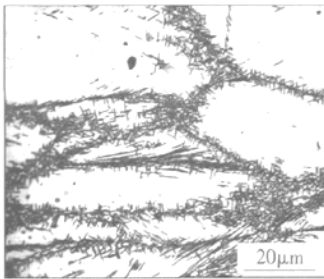
GH4169 合金经在不同温度场条件下近等温锻造后典型显微组织如图 1 所示。GH4169 合金的拉伸性能指标如表 1 所示。从图 1 中可见, GH4169 合金平均晶粒直径随成形温度提高而增大,在 980℃和 1 020℃温度下成形后晶粒度级别均为 ASTM10,而在 1 060℃温度成形后为 ASTM6; 间隙相由短棒状向针状转变,并且分散程度明显降低。从图 1(a)可见,间隙相以短棒状均匀分布,平均直径在 $1\mu\text{m}$ 左右。对比表 2 中 3 种温度下变形 GH4169 合金的拉伸性能可知,在 980℃下变形后合金的塑性性能最高,但是屈服强度明显低于其他。从 1 060℃温度下近等温成形后显微组织图 1(c)中可见,间隙相完全以针状形态存在,长度大约为 $2\mu\text{m}$,在晶界处大量存在,造成该组试验塑性性能降低^[8]。在 1 020℃温度下近等温成形后显微组织图 1(b)所示,晶粒度级别为 ASTM10 级,间隙相以短棒状和针状共同存在,短棒状间隙相多存在于晶粒内部,而针状间隙相则存在于晶界处,该组合金拉伸



(a)980°C



(b)1 020°C



(c)1 060°C

图1 GH4169合金近等温锻造后的典型显微组织
Fig.1 Typical microstructure of GH4169 alloy processed under near-isothermal forging

表1 拉伸性能指标

试验温度/ °C	强度极限 σ_b / MPa	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ / MPa	延伸率 δ / %	断面收缩率 ψ / %
20	$\geq 1\ 345$	$\geq 1\ 100$	≥ 12	≥ 15
650	$\geq 1\ 080$	≥ 930	≥ 12	≥ 15

性能最优越。

2.2 近等温锻造拉伸性能对变形量和应变速率的高稳定性

从图2和表3的拉伸性能测试结果表明,近等温锻造GH4169合金的拉伸性能均达到指标要求,并且对应变速率敏感程度低。采用较低的应变速率成形

表2 在不同温度下近等温锻造
GH4169合金拉伸试验结果

组号	拉伸性能					
	成形温度 / °C	拉伸温度 / °C	强度极限 σ_b / MPa	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ / MPa	延伸率 δ / %	断面收缩率 ψ / %
T1	980	20	1 426	1 110	17.7	28.3
		650	1 135	936	32.2	66.8
T2	1 020	20	1 458	1 218	15.1	25.1
		650	1 175	1 026	29.7	66.3
T3	1 060	20	1 429	1 191	15.3	26.5
		650	1 165	1 011	23.8	59

注:T1 为在 920°C⁶⁰⁰温度场条件下近等温锻造 GH4169 合金拉伸性能平均值。

表3 在不同应变速率下近等温锻造
GH4169合金拉伸试验结果

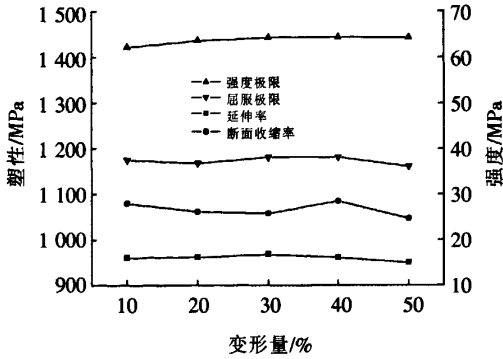
组号	拉伸性能					
	应变速率 / s ⁻¹	拉伸温度 / °C	强度极限 σ_b / MPa	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ / MPa	延伸率 δ / %	断面收缩率 ψ / %
E1	0.1	20	1 431	1 166	16.8	26.6
		650	1 155	988	29.8	63.4
E2	0.01	20	1 439	1 185	15.9	27.1
		650	1 163	1 000	27.4	63.5
E3	0.001	20	1 443	1 175	15.5	25.9
		650	1 156	983	29.9	65.1

注:E1 为在 0.1s⁻¹应变速率下近等温锻造 GH4169 合金拉伸性能平均值。

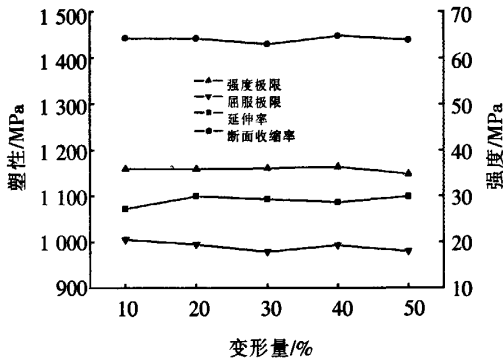
时,有利于降低合金变形抗力,从节约锻造吨位来说采用较小的应变速率可以大大提高合金可锻性。然而应变速率与成形时间密切相关,锻造时间过长会导致晶粒长大,可能会导致性能略有下降,同时浪费加热能源。

3 讨论

近等温锻造GH4169合金时,显微组织与拉伸性能对成形温度场敏感性高,对变形量和应变速率稳定性好。如图1所示,在980°C、1 020°C和1 060°C温度



(a)室温拉伸



(b)650℃拉伸

图2 GH4169合金近等温锻造成形后拉伸性能曲线

Fig.2 Tensile properties of GH4169 alloy processed under near-isothermal forging

下近等温锻造成形GH4169合金时得到的3种典型的微观组织和差异明显的力学性能,其中在980℃和1020℃温度下近等温成形晶粒较为细小为ASTM10级,而在1060℃温度下成形晶粒较为粗大为ASTM6级。在低温下近等温成形时即在920℃^{+60℃}温度场内对GH4169合金进行成形时(T1组),温度梯度为60℃,析出物以短棒状析出,组织均匀细小,表现出良好的塑性性能,但是屈服强度却明显降低。在920℃^{+140℃}温度场内对GH4169合金进行成形时(T3组),温度梯度是3组中最大的,达到140℃。从图1中可见,T3组试验析出物形态由短棒状转化为针状,分散度明显降低仅出现在晶界处、晶粒明显长大,严重影响塑性性能。但是屈服强度却明显高于T1组试样、与T2组接近,这充分说明当间隙相以针状析形态存在时对屈服强度贡献大。

4 结论

(1)近等温锻造GH4169合金时,组织和拉伸性能对温度场分布敏感性高,对变形程度和应变速率的稳定性好,在920℃^{+100℃}温度场成形条件下近等温成形GH4169合金拉伸性能最优。

(2)随着成形温度提高,间隙相由短棒状向针状转变,分散度降低,针状间隙相有利于提高合金屈服强度。

参考文献

- [1] 刘谋信,吴泽,姚泽坤,等. 700~800℃温度下GH4169合金组织演化和力学性能研究. 锻压技术,2007,32(2):90-93.
- [2] Cao W D, Kennedy R L. New developments in wrought 718-type superalloys. Acta Metallurgica Sinica. 2005,18(1): 39-46.
- [3] Ning Y Q, Yao Z K, Guo H Z, et al. Ultrafine-grained treatment process on FGH4096 alloy. Key Engineering Materials Vols. 2009(407-408): 697-697.
- [4] 宁永权,姚泽坤,吴泽,等. 多火次锻造对GH4133A合金组织和性能的影响. 塑性工程学报,2008,15(4):98-101.
- [5] 吕宏军,姚草根,张凯峰,等. GH4169合金细晶成形工艺与机理及其性能研究. 机械工程材料,2003,27(1):15-18.
- [6] Lu H J, Jia X C, Zhang K F. Fine-grained pretreatment process and superplasticity for INCONEL718 superalloy. Materials Science and Engineering A. 2002, 326: 382-385.
- [7] 郭鸿镇,姚泽坤. 合金钢与有色金属锻造. 西安:西北工业大学出版社,1999.
- [8] 蔡玉林,郑运荣. 高温合金的金相研究. 北京:国防工业出版社,1986.9-11.

(责编 依然)



巴西航空工业公司公布 亚太地区喷气公务机销售团队组成

巴西航空工业公司已经任命布莱特·麦克拉赫伦先生和曼弗雷德·波特卢斯先生为亚太地区喷气公务机销售总监,直接向公司亚太地区公务喷气机营销副总裁荷塞·伊尔瓦多·科斯塔斯先生汇报。布莱特·麦克拉赫伦先生负责澳大利亚、新西兰、菲律宾、台湾、韩国和日本等国家和地区,而曼弗雷德·波特卢斯先生则负责印度、巴基斯坦、孟加拉国、泰国、越南、马来西亚、印度尼西亚和新加坡等国家的网络建设和关系维护。销售团队中还包括销售工程师安德烈·蒙特罗先生。

(本刊记者 依然)