

GH118合金叶片模锻工艺及锻件质量

黎明机械公司 郭志德 殷跃军 崔俊武

六二一所 杨玉荣

GH118是高合金化的Ni-Cr-Co 变形高温合金,用来制造950℃以下工作的航空发动机涡轮转子叶片。与GH49相比, GH118合金的热强性高、晶粒细、疲劳性能好、比重小、抗氧化抗腐蚀性好,用以代替GH49合金制造涡轮型发动机一级涡轮叶片,可避免GH49合金因存在大量粗晶而报废;同时因GH118合金叶片可不渗铝,故简化了制造工艺;并且由于比重小,可减轻涡轮盘负荷,从而延长涡轮盘寿命。

由于GH118合金化程度高,其铝、钛之和高达9%。因此,合金的工艺塑性相当差,难于变形,其模锻成型性曾一度成为突出的关键问题。为此从1973~1981年先后四次对该合金进行了模锻试验,通过试验掌握了正确的模锻工艺参数,已经能够稳定地获得质量优良的锻件。

一、模锻工艺参数的选择

从GH118合金墩粗塑性试验^[1]结果可看出,合金最佳变形温度在1100~1140℃范围内,低于1100℃或高于1140℃时塑性急剧下降。在1100~1140℃,合金一次变形允许的最大变形程度为65~70%,根据墩粗试验及模锻试验确定, GH118合金叶片模锻加热温度为1120±10℃。现场操作时间从出炉到锻完一般为4~6秒,可以满足GH118合金的模锻质量。

表1 化 学 成 分

炉 号	C	S	P	Cr	Mo	Al	Ti	Co
490	0.14	<0.010	0.002	14.97	3.82	4.85	3.99	15.10
263	0.10	<0.015	0.002	14.94	3.64	4.93	4.00	14.33
3B-80-23-77	0.12~0.20	≤0.015	实测	14.0~16.0	3.0~5.0	4.5~5.5	3.5~4.5	13.0~15.5

二、模锻工艺

为了掌握合金的模锻工艺,先后进行了四次模锻试验。第一次试验是为了探索合金的成型及模锻工艺。第二次试验采用顶锻—预锻—终锻三步成型(其中终锻分别采用1100、1120、1130℃加热),结果均良好。第三次试验采用顶锻—终锻两步成型(加热温度为1120℃),其模锻的叶片参加了长期试车考验。由于第三次模锻试验采用两次成型,其最大变形程度为68%,达到合金的极限变形程度,致使37%的叶片因叶盆处产生纵向裂纹而报废。合格的叶片于1975年参加了发动机长期试车,经236小时长试后,全台叶片均无故障,组织正常。试车叶片未经渗铝防护。第三次模锻叶片虽然试车成功,但其锻造裂纹问题仍须加以解决。

为了验证第三次模锻试验产生裂纹是由于变形比过大造成的,又进行了第四次模锻试验,采用顶锻—预锻—终锻三步成型工艺。第四次模锻试验主要工艺流程是:下料—车光—探伤—顶锻—车锥体—预锻—终锻—热处理。

1. 原材料

试验用料取自上钢五厂和抚顺钢厂生产的双真空GH118合金热轧棒材(φ28毫米),经入厂复验,合金成分、机械性能及冶金质量均符合技术条件要求,结果见表1、2。

表 2 机 械 性 能

炉 号	持 久			室温 HB 毫 米	晶 粒 度 级	纵向低倍 带 状	纯洁度 级	断 口 分 层 疏 松	
	°C	应力,公斤/毫米 ²	时间,小时:分						
490	980	11.8	>60:30	3.2 3.3	4~3 4~5	1	1	1	1
263	980	11.8	>64:20	3.25 3.3	1~5 1~5	1	1	1	1
3B-80-23-77	980	11.8	≥60:00	≤3.40		1~2	1~3	1	1~4

2. 探伤

棒材下料后车成 $\phi 25.5 \pm 0.3$, 长 155 ± 0.5 毫米毛坯, 逐件进行水浸超声波探伤。标准件材料为GH118合金, 平底孔为 $\phi 1.0$, 3孔。

3. 加热

每次模锻前加热均按 $825 \pm 25^\circ\text{C}$, 保温 >45 分钟后转入高温 $1120 \pm 10^\circ\text{C}$, 保温 ≥ 45 分钟, 出炉模锻。

4. 模锻

顶锻: 在3英寸卧锻机上进行。

预锻: 在2000吨压力机上进行, 模具预热 80°C 。

终锻: 在2000吨压力机上进行, 模具预热 120°C 。

模锻试验结果如下:

1) 合金采用顶锻—预锻—终锻三步模锻, 锻件表面甚至毛边均无裂纹, 优于GH49锻件的质量。经计算, GH118合金三步模锻法各步变形比分别是: 顶锻31%、预锻51%、终锻47%; 两步模锻法变形比是顶锻46%、终锻68%。两步模锻法的终锻变形量达到了合金的最大允许变形程度, 易产生锻造裂纹, 不宜采用。经三步模锻的锻件表面如图1所示。GH118合金 γ' 溶解温度为 $1140 \sim 1160^\circ\text{C}$ ^[2], 模锻温度处于 $\gamma \sim \gamma'$ 两相区。试验结果表明, 合金模锻工艺性能良好。

2) 合金模锻时, 对于涂玻璃润滑剂作了对比试验, 结果表明, 未涂玻璃润滑剂的棒料、锻件质量也很好, 所以, GH118合金可不涂润滑剂直接进行模锻, 这样在模锻过程中, 既便于操作, 又减少工艺程序。

3) 合金模锻时, 模具预热温度不宜过高(150°C 以下即可), 因为模具预热温度高

($>250^\circ\text{C}$) 时容易粘模, 也影响锻件表面质量, 同时还表明, 不涂 MoS_2 效果较好。因为S对处于高温的叶片, 不但不起润滑作用, 还可能引起腐蚀而使表面质量变坏。

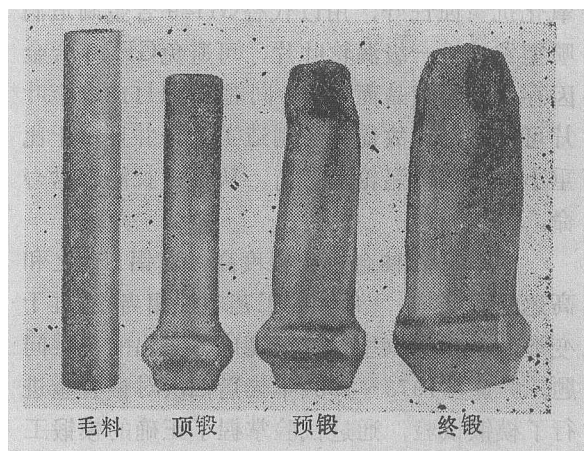


图 1 GH118合金锻件表面状态

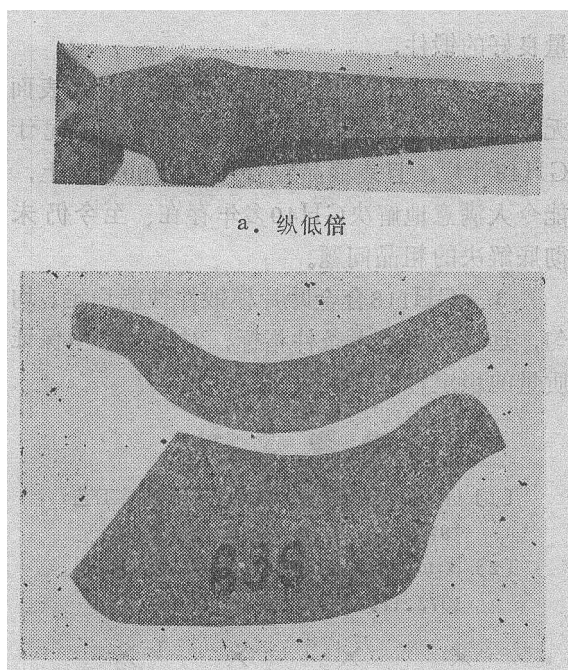
三、锻件质量

为检验GH118合金的锻件质量, 解剖了若干叶片测试机械性能, 检查了纵、横低倍组织和叶片表面组织, 结果如下:

1. 叶片的纵、横低倍组织

叶片经($1190^\circ\text{C} \times 1.5$ 小时, 空冷+ $1100^\circ\text{C} \times 6$ 小时, 空冷)标准热处理后的纵、横低倍组织如图2a、b所示。GH118合金叶片的低倍组织无任何缺陷, 晶粒细小、均匀, 远比GH49叶片的晶粒细小。GH49模锻试验时的典型低倍组织见图3。

GH118合金含碳量较高($0.12 \sim 0.20\%$), 而GH49合金含碳量则很低($\leq 0.07\%$)。碳对合金晶粒度影响很大, 英国Nimonic合金大多含有较高的碳, 目的是为了通过获得细的晶



a. 纵低倍

b. 横低倍

图 2 GH118合金模锻叶片的低倍组织

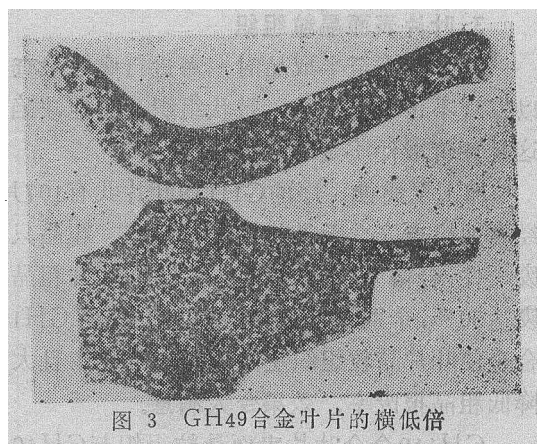


图 3 GH49合金叶片的横低倍

粒组织来提高合金的抗疲劳性能。此外，GH118合金固溶处理温度为 $1190^{\circ}\text{C} \times 1.5$ 小时，而 GH49 则为 $1200^{\circ}\text{C} \times 2$ 小时，这也是 GH118 比 GH49 晶粒细的原因之一。

2. 机械性能

叶片锻件经标准热处理后，取样作 900、980 $^{\circ}\text{C}$ 的高温拉伸及持久试验，结果见表 3。

表 3 GH118合金力学性能

炉 号	温度 $^{\circ}\text{C}$	高 温 拉 伸			高 温 持 久				注
		σ_b , 公斤/毫米 ²	δ , %	ψ , %	应力, 公斤/毫米 ²	时间, 小时: 分	δ , %	ψ , %	
490	980	49.7	14.4	22.5	11.8	236 : 15	16		
	900	69.0	15.2	22.5	25	53 : 10	10	12.4	
		69.5	14.8	22.5		97 : 20	9.2	14.32	
263	980	47.21	14.8	26.1	11.8	>60 : 30			未断
	900	71.0	12.8	11.5	25	100 : 00	12.4	7.2	
		70.5	16.8	19.0		96 : 35	5.2	8.0	
3B-80-23-77					980 $^{\circ}\text{C}$, 11.8 公斤/毫米 ² ≥ 60 小时				

GH118合金模锻后，锻件性能均匀、稳定，并且远远超过技术条件规定的指标，性能潜力较大，这对今后正式生产、保证质量稳定有实际意义。

GH118合金比GH49热强水平高、比重小，其比强度（持久强度/比重）与GH49相比更优越。

比较结果如下：	GH118	GH49
800 $^{\circ}\text{C}$: $\frac{\sigma_{100}}{d}$	6.1	5.2
900 $^{\circ}\text{C}$: $\frac{\sigma_{100}}{d}$	3.18	2.6
1000 $^{\circ}\text{C}$: $\frac{\sigma_{100}}{d}$	1.46	0.83

注： σ_{100} 为合金100小时的持久强度，d为材料的比重。

3. 叶片表面晶粒组织

叶片加工至半成品时, 需进行腐蚀检查, 以发现不正常的粗晶、带状组织及其他缺陷。这是评价锻件质量的重要一环。

加工至腐蚀工序的GH118叶片共有107片。经腐蚀检查完全无带状及其他缺陷。粗晶只报废一件, 合格率达99%以上, GH49叶片粗晶报废达50%, 个别炉批达90%以上。采用GH118合金使叶片晶粒组织更趋均匀、细化, 且大大降低粗晶报废率, 效果令人满意。

GH118合金叶片表面晶粒组织与GH49叶片的表面晶粒组织的比较见图4和图5。

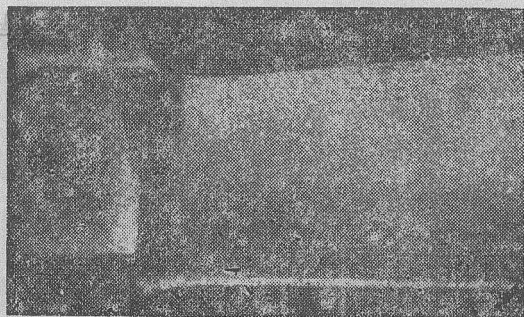


图4 GH118合金叶片的表面晶粒组织



图5 GH49合金叶片的表面晶粒组织

四、结 论

1. 在模锻试验中只要正确掌握工艺, GH118合金能表现出良好的工艺塑性。两步模锻(顶锻—终锻)在叶盆出现的纵向裂纹是由于一次变形量达到合金的最大允许变形程度所致。三步模锻(顶锻—预锻—终锻)能获得质

量良好的锻件。

2. GH118合金的叶片模锻件内部与表面无任何缺陷, 晶粒细小均匀, 锻件质量优于GH49叶片, 且表面晶粒合格率达99%以上, 能令人满意地解决GH49多年存在、至今仍未彻底解决的粗晶问题。

3. GH118合金叶片模锻件性能稳定、均匀, 远远超出技术条件指标, 对批生产中保证质量的稳定性有很大意义。

参 考 文 献

- [1] GH118合金试制总结(五)模锻工艺, 1974.11.
- [2] Nimonic合金的组织, 国外航空材料, 1973.17.

× × × ×

(上接第43页)

在复合材料研制中仍存在一些薄弱环节, 例如: 几乎还没有一个单位真正已经建立起完整的、健全的、有效的质量控制系统; 复合材料的机加工(切削、钻孔等)尚待进行深入研究, 以便尽快制订合理的机加工规范; 无损检验方法急需确立和完善, 制订标准(在这方面, 六二一研究所就超声C扫描、软X射线、激光全息及涡流等方法进行了较多研究, 但离制订标准还有一定距离)。此外, 在复合材料力学、铺层设计及其他基础理论方面尚有大量课题有待组织力量深入研究(本文限于篇幅未能涉及这方面内容)。

我们希望今后能通过复合材料发展规划和具体项目的计划安排, 将设计、材料、工艺、检验、维修等一整套人员组成为一体, 更好地协调开发工作; 同时要切实加强全面质量管理, 保证重点, 争取在较短时间内在复合材料的研制和应用上有新的突破。

本文曾在1982年10月兵器工业非金属材料专业情报网第二次全网成员大会上宣读。

本文曾得到姜作义同志热情帮助, 提出宝贵意见, 特致谢意。

(本刊发表时作了删节, 参考文献略)