

GH93 合金的高温持久、蠕变、疲劳性能

阎冀章

摘 要

GH93合金为Ni-Cr-Co基加入铝钛强化的时效耐热合金,采用真空感应炉+真空自耗电极重熔法冶炼,合金的高温持久、蠕变、疲劳性能均具有良好数值。所轧制的Φ26棒材,作为WZ6发动机自由涡轮一、二级涡轮叶片,成功地经受了900小时试车考验。

一、试验材料状态及试验

鉴定表明,采用真空感应炉+真空自耗电极重熔法冶炼的GH93合金材质较为纯净,夹杂物

研究项目

1.原材料状态 (Φ26轧材)

冶炼工艺方法:真空感应炉+真空自耗电极重熔。

化学成分:冶金工业部长城钢厂三分厂对14H11炉合金进行分析,其数值和GH93合金化学成分见表1。

根据化学分析结果,14H11炉符合GH93合金技术条件规定的范围。

2.试验项目

(1)轧材低倍组织;(2)合金高倍组织;(3)合金瞬时机械性能;(4)合金高温持久性能;(5)合金长时蠕变性能;(6)高温疲劳性能。

二、试验结果及讨论

合金在进行试验前,经过热处理,其处理制度如下:

1070℃×8h空冷+710℃×16h空冷

1.轧材低倍组织检验

经检验,轧材横低倍组织良好、致密、无疏松等冶金缺陷,轧材纵低倍组织均匀。

轧材纵、横低倍组织如图1所示。

2.合金高倍组织

(1)夹杂物:对14H11炉合金的夹杂物进行

表 1 化学成分 (%)

合金元素	GH 93*	Nimonic 93 ^[1]	14H11
C	≤0.13	0.10	0.065
Mn	≤1.0	1.0 _{max}	0.03
Si	≤1.0	1.5 _{max}	0.09
S	≤0.015		0.005
P	≤0.015		0.007
Cr	12.0~21.0	19.5	18.76
Co	15.0~21.0	18.0	19.23
Al	1.0~2.0	1.5	1.32
Ti	2.0~3.0	2.75	2.54
Cu	≤0.2	0.1 _{max}	0.01
Fe	≤1.0	2.0 _{max}	0.24
B	≤0.02	0.008	0.0074
Pb			<0.0005
Ni	基	基	基
其它		Zr 0.08	

* GH93合金技术条件为C₃S132—83,系由三七零厂和长城钢厂三分厂根据法国NCK20T合金修订。

少。夹杂物主要为细小分散的TiN，亦有少量Ti(CN)。

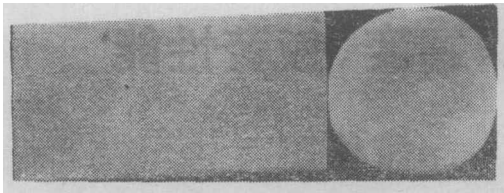


图 1 Φ26轧材纵、横低倍组织

(2)晶粒度：合金经1070℃×8h空冷处理，在固溶状态下检验晶粒度。晶粒度比较均匀，按ASTM E112晶粒度评级标准，为3~6级，如图2所示。

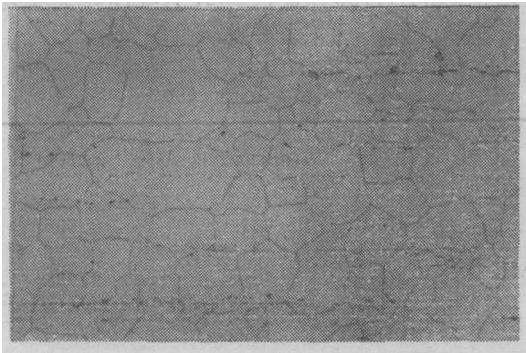


图 2 GH93合金晶粒度

(3)高倍组织：合金按1070℃×8h空冷+710℃×16h空冷热处理后，在光学显微镜下进行观察，经时效后在晶界上已有析出物，呈断续状分布，如图3a所示。

另外，在电镜下观察合金组织，合金在晶界上析出碳化物，基体上有小颗粒γ'析出而使合金强化。合金的高倍组织如图3b所示。

3. 室温和高温瞬时机械性能

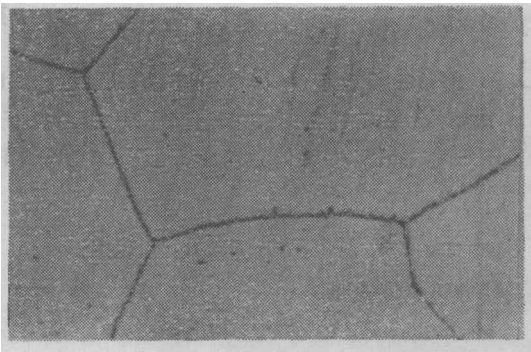
对GH93合金进行室温、高温瞬时拉伸试验，结果列于表2。

从表内数据看出，室温拉伸性能高于C3S132-83技术条件规定的指标。高温瞬时拉伸性能已达到Nimonic93合金的水平^[1]。另外，合金的塑性水平较高，数据稳定。

4. 高温持久性能

GH93合金用作WZ6发动机自由涡轮一、

二级涡轮叶片，对Φ26轧材经标准热处理后进行高温持久性能试验。为验证合金的可靠性和潜力，试验中在光滑持久试样和缺口持久试样达到技术条件规定要求后，再继续试验，直至试样拉断为止。合金高温持久性能所测定之数值列于表3。



a ×800



b ×6000

图 3 GH93合金组织

表 2 室温和高温瞬时机械性能

温度 ℃	试样号	σ_b MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	δ_5 %	ψ %
20	1	1240	829	29.5	40.6
	2	1240	829	30.0	40.9
700	3	934	—	25.4	29.1
	4	944	—	26.6	26.7
800	5	675	—	26.1	31.1
	6	684	—	27.7	34.8
技术条件 (室温)		≥1078	≥686	≥20	

表 3

试样状态	试样号	温度 °C	应力 MPa	断裂寿命 h : min	δ %	ψ %
光滑	1	815	294	42 : 40	19.6	32.5
	2			50 : 00	22.4	35.6
缺口	7	815	294	245 : 40		
	8			283 : 45		
光滑	3	700	588	56 : 50	8.0	111
	4			41 : 05	6.4	36
缺口	5	700	588	297 : 40		
	6			563 : 00		
技术条件		815	294	$\geq 30 : 00$		

根据技术条件要求指标, 长城钢厂三分厂生产的 $\phi 26$ 轧材在815°C下的持久断裂寿命已超过技术条件规定, 尤其是具有高的延伸率, 这说明合金具有良好的持久强度和塑性。

对合金在700°C、815°C进行缺口持久试验, 其持久断裂寿命超过200小时, 证实合金无缺口敏感性。

5. 高温蠕变性能

冶金部长城钢厂三分厂曾对GH93合金高温蠕变性能进行过815°C、147MPa、 $\varepsilon_{0.2/300}$ 指标的测定, 试验结果说明合金在100小时的抗蠕变性能良好^[2]。

GH93合金用作自由涡轮一、二级叶片, 涡轮前温度770°C, 在高转速下(空中慢车为22500转/分)长时受力工作, 合金会产生蠕变, 故进行长时蠕变试验具有重要意义。

根据国外资料, 对Nimonic90和Nimonic95合金曾进行过长达5000小时的蠕变试验^[3]。我所限于设备条件, 选定815°C、137MPa、 $\varepsilon_{0.2/300}$ 的指标进行试验, 也进行了815°C、147MPa、 $\varepsilon_{0.2/300}$ 的试验, 以验证双真空冶炼工艺所制轧材质量的优越性。现将蠕变性能列于表4。

根据所测数值, 合金符合Nimonic93合金规定指标。将所测数值绘制成蠕变曲线, 从曲

线看出, GH93合金在250小时内, 即蠕变第二阶段, 在恒定蠕变速率下进行。其后蠕变进入第三阶段, 所绘制的蠕变曲线示于图4。

表 4

试样号	温度 °C	应力 MPa	时间 h	ε 总 %	ε 残 %
9	815	137	300	0.260	0.171
12	815	137	300	0.286	0.180
14	815	137	300	0.275	0.183
11	815	147	300	0.391	0.286
10	815	147	300	0.292	0.197

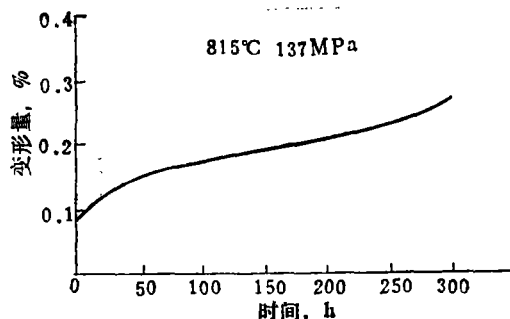


图 4 GH93合金815°C蠕变曲线

合金在815°C、147MPa、 $\varepsilon_{0.2/300}$ 试验中, 11#试样300小时的残余变形超过0.2%。当然, 仅两根试样尚不足以此结论。但与所发表的Nimonic93合金化学成分相比, 14H11炉合金内碳、铝、钛含量均低于Nimonic93合金最佳控制量, 实为下限值。

Nimonic93合金控制的铝、钛总含量Al+Ti \approx 4.2%, 而14H11炉合金的铝、钛总含量Al+Ti \approx 3.8%。碳含量应控制在0.10%, 而14H11炉合金的含碳量为0.065%, 属于低碳范畴, 故影响其蠕变性能。由于本合金含钛近20%, 可增加对碳化物之溶解度, 在冶炼中控制化学成分时, 过分考虑低碳是不适宜的。

6. 高温疲劳性能

1970年公开发表的Nimonic93合金资料中

没有关于合金高温疲劳性能测试的指标。由于试验料量所限,我们仅选用长城钢厂三分厂高温疲劳试验指标,对所轧的 $\phi 26$ 棒材进行复验。所测合金的高温疲劳数值列于表5。

从所测合金高温疲劳数值看出,合金在

表 5

试样状态	试样尺寸 mm	温 度 °C	应 力 MPa	循环周期 次	试验机型号 转速, r/min
光	9.502	750	387	$>1.02 \times 10^7$	P型机—5000
	9.509	750	387	$>1.02 \times 10^7$	
	9.497	750	387	$>1.02 \times 10^7$	
滑	9.50	750	274	9.0×10^5	P型机—5000
	9.52	750	274	3.37×10^6	
	9.518	750	274	$>1.02 \times 10^7$	
缺	9.498	815	274	$>1.035 \times 10^7$	P型机—5000
	9.51	815	274	$>1.035 \times 10^7$	
	9.51	815	274	$>1.035 \times 10^7$	
滑	9.515	815	216	$>1.02 \times 10^7$	P型机—5000
	9.515	815	216	$>1.02 \times 10^7$	
	9.515	815	216	$>1.02 \times 10^7$	

参 考 文 献

- (1) Nimonic93 Engineering Alloys Digest Inc Upper Montclair, New Jersey, May, 1970.
- (2) GH93合金工艺简介及全面性能, 冶金部长城钢厂三分厂, 1980年12月。

815℃的高应力状态下,光滑疲劳试样与缺口疲劳试样均具有较高的疲劳断裂寿命。

三、结 语

1. 采用真空感应炉+真空自耗电极重熔法冶炼的GH 93合金,其 $\phi 26$ 轧制棒材材质良好,室温和高温瞬时机械性能、高温持久性能均符合技术条件要求。

2. 合金在高温下具有高的疲劳强度和良好的抗蠕变性能,经模锻制造的一、二级涡轮叶片,经受了900小时地面试车考验。

3. 为使合金具有良好的高温持久、蠕变、疲劳性能,今后在冶炼GH93合金时,对化学成分应严格控制,碳含量 $\approx 0.1\%$ 和铝、钛总含量 $Al+Ti \approx 4\%$ 较为适宜。

- (3) П.В.米哈伊洛夫-米哈也夫,Металл Газовых Турбин, Государственное Научно-техническое Издательство Машиностроительной Литературы, Москва, 1958, стр. 268~269.

♂♀

♂♀

♂♀

♂♀

♂♀

♂♀

♂♀

♂♀

莫来石催化剂载体

将粘土置于一定温度下煅烧,使其不形成真正莫来石,将所得之产物用碱水沥滤以除去硅并煅烧成结晶莫来石。粘土最好是高岭土,初温选择 $800 \sim 1100^\circ\text{C}$,终温最好在 1050°C 以上。在 $\text{pH} 3 \sim 5$ 时从沥滤产物中洗除碱离子。粘土在煅烧前最好经喷雾干燥成微球,压成丸或蜂巢结构。沥滤最好能供给下列克分子比率:即 $Al_2O_3 : SiO_2$ 为1.5左右,能获得分子比率低于1.5

的耐磨耗的微球则更好。

用途和优点:多孔莫来石比过去的产品(由高表面粉末制成的,其所含之粘合剂会减少微孔容积并使退化)具有更高的高温稳定性。可用作催化剂载体,包括Pt或Pd催化剂载体和汽车排气催化剂载体,以及在石油流态催化裂化装置的再生器中和在惰性接触材料用于沥青残渣加工时对CO或碳氢化合物的氧化。
(胡少卿编译)