

GH93合金长期时效对组织 稳定性和性能的影响

阎冀章

摘 要

本文研究了GH93合金经700°C和800°C长期时效对其组织稳定性和室温、高温拉伸性能及高温持久性能的影响。结果证明，GH93合金经700°C时效后的组织是稳定的。

一、前言

GH93合金在WZ-6发动机上用作自由涡轮一级涡轮叶片，其最高工作温度为750°C，瞬时可达800°C。该发动机长时工作寿命可达1200小时。合金在长时工作后组织会发生变化，故应对合金长时稳定性进行研究，此外尚需研究合金长期时效后拉伸性能和持久性能的变化。

二、试验材料和性能

材料经真空感应炉冶炼+真空自耗电极重熔而成。轧成 $\phi 20$ 的棒材。化学成分(炉号：14H11)列于表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。

14H11炉合金的拉伸性能和持久性能列于表2。

三、试验结果和讨论

1 合金组织

(1)合金经1070°C×8h AC+710°C×16h AC，热处理后的组织如图1所示。

合金经上述标准热处理后，晶界上析出碳化物，晶内析出小颗粒状 γ' ，使合金得以强化。

(2)700°C时效：将合金进行1070°C×8h AC+700°C×100h、200h、400h、600h、800h、1000h AC处理，随后在光学显微镜下观察不同时效时间的合金组织时发现：在所有情况下，晶界均析出断续链状碳化物，而在时效800h的合金中还发现晶内存在少量的短棒状相；在电镜下观察时效100小时至1000小时的合金组织，均析出细小的 γ' 颗粒， γ' 没有明显聚集长大的现象。合金的组织如图2所示。

(3)800°C时效：将合金进行1070°C×8h AC+800°C×100h、200h、400h、600h、800h、1000h AC处理，随后在光学显微镜下观察800°C不同时效时间的合金组织时发现，晶界上析出碳化物的形态为短链状和少量连续膜状。经800h、1000h时效的合金，晶内亦析出少量的短棒状相；在电镜下观察时效100h至1000h的合金组织时发现，经100h时效所析出的是细小弥散的 γ' ，而经800h时效析出的则是取向长大的 γ' (图3)。

表 1

合金 牌号	化 学 成 分, %													
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Co	Al	Ti	Cu	Fe	B	Pb	Ni
GH93*	0.10	≤1.0	≤1.0	≤0.015	≤0.015	18~21	15~21	1.0~2.0	2.0~3.0	≤0.2	≤1.0	≤0.02	—	基
14H11	0.065	0.03	0.09	0.005	0.007	18.76	19.23	1.32	2.54	0.01	0.24	0.0074	<0.0005	基

*GH93合金的技术条件为C2S132-83,系由长城钢厂和三七〇厂根据法国NCK20T合金的文件修订。

表 2 GH93合金长期时效后的室温和高温拉伸性能、高温持久性能

热处理制度	20°C				800°C			815°C持久性能*		
	σ_b MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	δ %	ψ %	σ_b MPa	δ %	ψ %	断裂寿命 τ h : min	δ %	ψ %
1070°C×8hAC	1240.53	828.66	29.5	40.6	674.69	26.1	31.1	42: 40	19.6	32.5
+710°C×16hAC	1240.53	828.66	30.0	40.9	685.48	27.7	34.8	50: 00	22.4	35.6
1070°C×8hAC	1268.00	860.04	24.6	33.9	696.27	29.2	53.9	32: 10	—	25.9
+700°C×800hAC	1274.86	863.97	26.4	33.0	658.02	19.8	54.9	31: 05	—	32.5
	1255.25	854.15	25.5	32.8	690.38	25.0	51.1	31: 10	—	25.8
1070°C×8hAC	1274.86	876.71	25.2	31.9	690.38	31.1	53.4	33: 30	—	42.1
+700°C×1000hAC	1268.00	861.02	25.0	33.6	684.50	32.4	56.1	31: 20	—	29.3
	1274.86	871.81	25.2	29.0	682.54	31.4	51.2	27: 50	—	—
1070°C×8hAC	1268.00	811.01	21.1	31.1	595.26	37.2	70.0	26: 25	—	32.5
+800°C×600hAC	1214.06	729.97	24.9	32.3	610.95	49.6	72.0	47: 05	—	32.4
1070°C×8hAC	1158.16	685.48	25.5	39.9	611.93	36.6	64.7	20: 50	—	42.2
+800°C×800hAC	1177.78	716.86	26.2	39.0	619.78	40.0	66.6	20: 40	—	39.0
	1177.78	721.77	25.4	37.4	626.65	40.0	65.3	21: 30	—	36.3
1070°C×8hAC	1126.78	636.45	28.7	41.8	592.32	46.2	70.1	17: 05	34.4	45.2
+800°C×1000hAC	1121.88	621.74	28.7	41.7	575.65	43.6	70.4	9: 35	35.2	48.0
	1107.17	585.46	29.0	42.4	559.96	47.6	72.2	12: 00	29.6	56.3

*应力为291.20MPa。

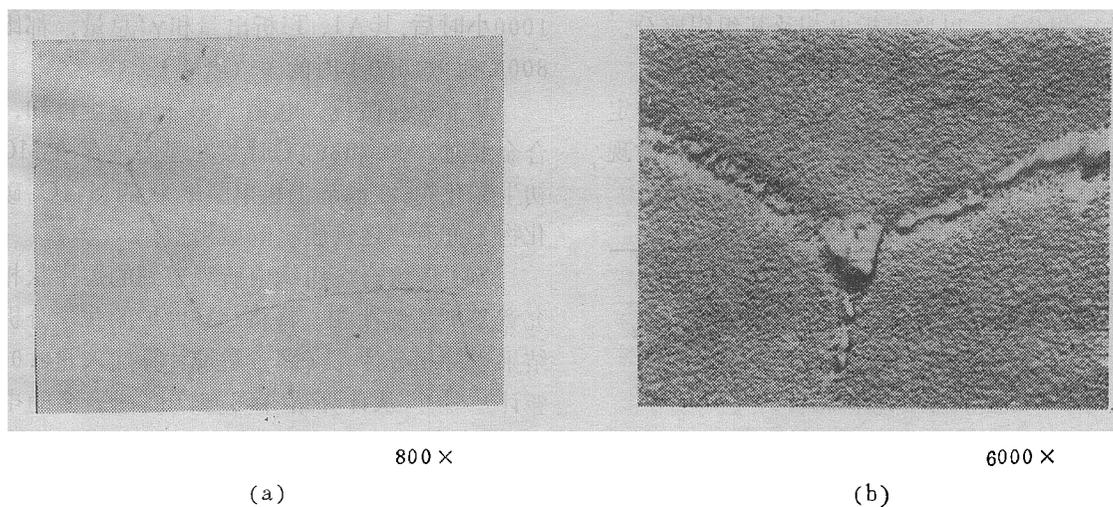


图 1 GH93合金的组织

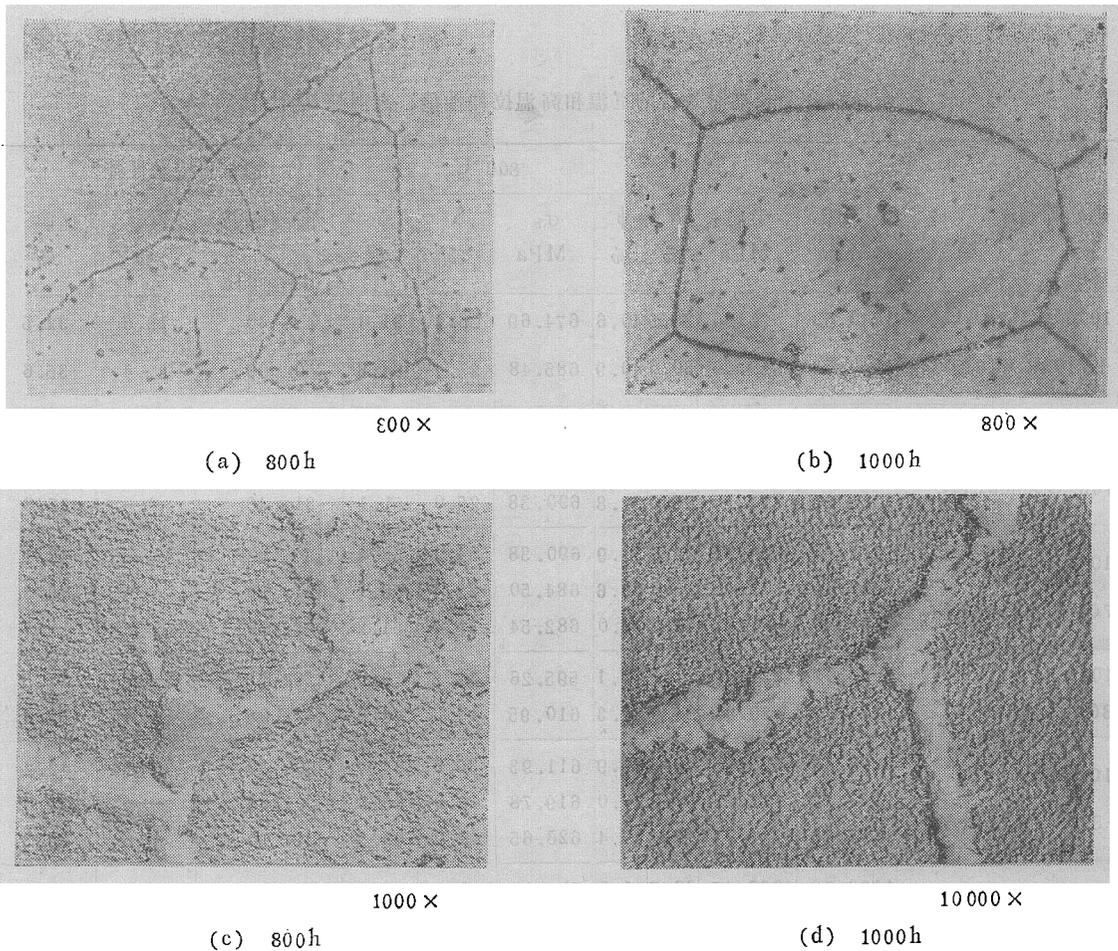


图 2 GH93合金700°C时效组织

2. 合金的相分析

将时效800°C×1000h和700°C×1000h的合金进行相分析，以鉴定析出相及其组织成分。所采用的电解液和电解规范列于表3。

在X光衍射时曾发现极细线条，未能鉴定出是何种相，在电镜下观察组织时，亦仅发现

析出极少量的短棒状相。

从定量相分析可知，合金在700°C时效1000小时后，其Al、Ti析出量和 γ' 总量，都比800°C时效1000小时的多（表4）。

从光学显微镜、电镜、相分析鉴定可知，合金经过700°C和800°C时效处理后，存在MC初生碳化物，在晶界上析出断续状的 $M_{23}C_6$ 碳化物，亦有呈连续膜状的碳化物。

为了确定合金组织中所观察到的短棒状相究竟是不是脆性相，特将14H11炉的化学分析结果进行相分计算（硼含量按计算加入量0.01%计）^[1]。从计算结果可知，该炉合金的电子空位数 $\bar{N}_v=1.89$ ，低于 $\bar{N}_v=2.5$ 临界值，故认为不属于脆性相，可能仍是碳化物沿某一晶体平面的择优析出。

表 3

电解液编号	电解液及电解规范
1	1000mlCH ₃ OH+100mlC ₃ H ₅ (OH) ₂ +75mlHCl+1g(NH ₄) ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ; 0.06A/cm ² , -9°C, 1h30s
2	10%H ₃ PO ₄ +10gNa ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·2H ₂ O; 0.03A/cm ² , 20°C, 40s

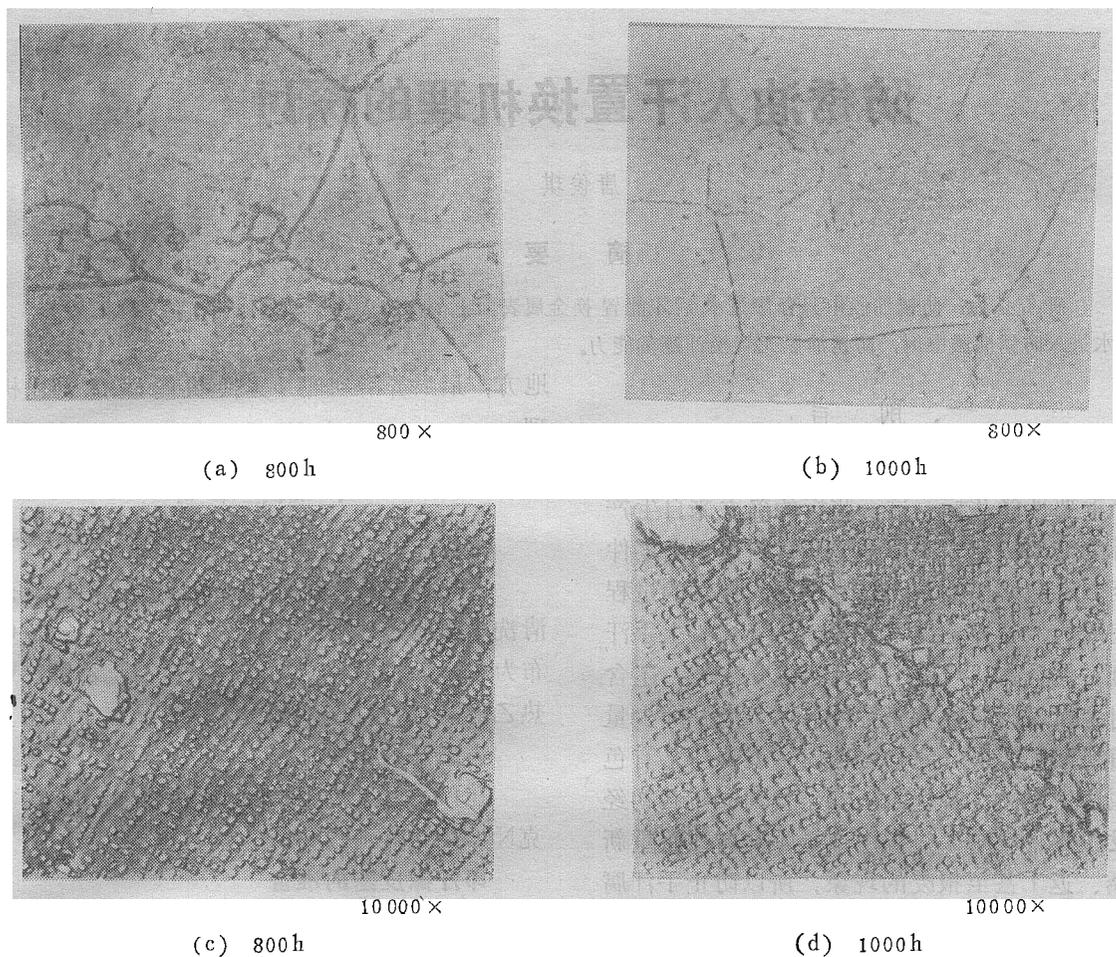


图 3 GH93合金800°C时效组织

表 4 X光衍射及化学定量分析结果

时效制度	电解液号	X光衍射结果	合金元素, %						
			Ni	Cr	Ti	Co	Al	Zr	总量
800°C ×1000h	1	MC	0.04	0.58	0.15	0.02	—	—	0.79
		M ₂₃ C ₆	0.04	0.55	0.14	0.01	—	—	0.74
	2	γ'	10.36	0.04	1.56	0.65	0.81	痕	13.42
			10.43	0.07	1.60	0.67	0.92	痕	13.73
700°C ×1000h	1	MC	0.02	0.25	0.14	0.02	—	—	0.43
		M ₂₃ C ₆	0.03	0.33	0.16	0.03	—	—	0.55
	2	γ'	11.7	0.44	1.92	0.48	1.18	痕	15.72
			11.46	0.31	1.83	0.46	1.12	痕	15.18

注: MC, M₆C未进行分离。

3. 长期时效后的拉伸性能

将合金进行1070°C×8h AC固溶处理并进行700°C×800h、1000h AC时效处理后,测定室温和高温瞬时拉伸性能和高温持久性能,测定结果见表2。

从表内数值可知,经700°C×800h、1000h时效处理后,合金的室温和高温瞬时拉伸性能和高温持久断裂寿命与正常热处理后测得的数据相近,极少量的短棒状相对合金性能没有大的影响。

(下转第30页)

表2 环境温度变动对E的影响
(1982年12月测)

合金 温度t, °C		A	B	C	D	E	F
1982.12.7 20°C	第一次	-91	-100	20	-82	43	333
	第二次	-91	-101	25	-82	48	356
	平均	-91	-101	23	-82	46	345
1982.12.9 20°C	第一次	-90	-100	18	-83	39	336
	第二次	-89	-93	20	-78	42	333
	平均	-90	-97	19	-81	41	335
12.16, 13°C	单次	-91	-97	17	-83	39	329
12.16, 3°C	单次	-95	-105	16	-86	34	317
12.16, 3°C	单次	-93	-101	17	-85	37	323

表2为分选仪在不同时间、不同地点、不同环境温度下几种合金的实测结果。

热电仪的工业应用实例可参见资料〔6~9〕。

四、小结

1. 热电检测方法能够对热电势差别较大的金属或合金做可靠的区分,如碳钢、不锈钢、耐热合金、石墨、金刚石、粉末冶金制品(硬质合金)、纯金属、半导体等,有效地弥补了其它电磁无损分选方法(涡流,磁感应方法等)的不足,因此有推广使用的意义。

2. 实验数据表明,采用的温差控制原则和方法是正确的。无温差控制的商品或自制仪器仅能在环境温度不变的条件作相对比较测量,所以数据不能在另一环境温度下重现或采用。

3. 8507型分选仪的主要特点是两级温差控制,因此提高了金属分选的可靠性,在使用同一电极的条件下可增加分选的合金品种,体积和重量是国内外同类商品中最小的。

4. 8507分选仪已于1987年6月通过部级

鉴定,首批产品由621所组织生产并签发合格证。

参 考 资 料

- (1) The 9th International Conference on NDT,(1973).
- (2) Materials Evaluation Sept,p1279, 1136,Jan., (1985),p34.
- (3) 《国际电子报》, 1985.5.
- (4) Förster 公司产品说明书.
- (5) ASTM Standard *E977-84.
- (6) 用户报告, 3107厂, 1986.9.
- (7) 用户报告, 124厂, 1986.9.
- (8) 用户报告, 石油院机械所, 1986.12.
- (9) 用户报告, 沙市第二机床厂, 1987.4.



(上接第13页)

经800°C×800h处理的合金,其高温瞬时强度明显降低。导致降低的原因是800°C长期时效后γ'明显聚集长大和存在少量连续膜状碳化物,故合金的长时工作温度不宜超过800°C。

四、结 语

1. 合金经700°C长期时效处理后,其室温和高温拉伸性能、高温持久性能无大变化,合金的组织基本上是稳定的。

2. 合金经800°C长期时效处理后,γ'聚集长大,室温和高温强度明显下降,高温持久断裂寿命亦有降低,故合金的长时工作温度应低于800°C。

参 考 文 献

- (1) Woodyaff, L.R., Sims, C.T. and Beattie, H.J., Prediction of Sigma type phase occurrence from composition in Austenitic superalloys, Transaction of AIME, 1966, No.4, Vo. 236.