

文章编号: 1003-7837(2000)02-0133-04

1 000 mm TC4 钛合金模锻叶片组织和性能研究

王伟莉¹, 孙福田¹, 白燕¹, 李平²

(1. 哈尔滨汽轮机有限责任公司材料研究所, 黑龙江 哈尔滨 150046;

2. 红原航空锻铸工业公司, 陕西 三原 710081)

摘要: 研究了1 000 mm TC4 钛合金叶片的锻造加热工艺和模锻叶片成形工艺; 比较了叶片各部位的低倍和高倍组织、力学性能和腐蚀疲劳性能; 综合评价了1 000 mm TC4 钛合金模锻叶片的加工性能和叶片各部位的性能。

关键词: 锻造; 钛合金; 叶片; 腐蚀疲劳

中图分类号: TG316, TG113.2

文献标识码: A

随着大容量汽轮机组的发展, 末级叶片的长度和通流面积不断增加, 叶片自重随之增加, 导致叶轮轮缘离心力大幅度提高, 甚至超过合金结构钢叶轮的许可应力。因此, 钢制末级叶片的使用长度受到限制。而钛合金的密度小, 强度高, 比强度大大超过不锈钢, 能显著降低叶轮的离心力; 钛合金的耐腐蚀性也明显优于不锈钢。国外汽轮机制造厂家已广泛采用钛合金制造汽轮机末级叶片。俄罗斯、美国、日本和法国等国家都先后制造了1 000 mm 以上的钛合金叶片, 并将其用于火电和核电汽轮机组。我国在60年代就提出研制钛合金长叶片的设想。80年代末我们首先研制成功了710 mm TC4 钛合金叶片, 90年代初在此基础上, 又研制了1 000 mm TC4 钛合金叶片。

1 实验方法

1.1 锻造工艺

TC4 钛合金属于 $\alpha+\beta$ 双相钛合金, 采用 $\alpha+\beta$ 双相锻造, 需要准确地测定相变点温度, 根据相变点温度确定锻造加热规范。钛是活泼金属, 极易氧化, 因此, 在锻造加热中应对锻坯进行保护。采用箱式电炉加热, 制坯加热规范为700℃保温45 min, 快速加热到970℃, 保温75 min 开锻。在3 t 自由锻锤上两火制坯; 模锻规范为在荒坯上涂水玻璃防护润滑剂, 700℃保温40 min, 快速加热到970℃, 保温40 min 开锻, 在63 t·m 对击模锻锤上模锻两火, 校形一火锻成, 氧乙炔切边。模锻叶片毛坯见图1。

收稿日期: 2000-03-18

作者简介: 王伟莉 (1961-), 女, 吉林省吉林市人, 高级工程师, 学士。

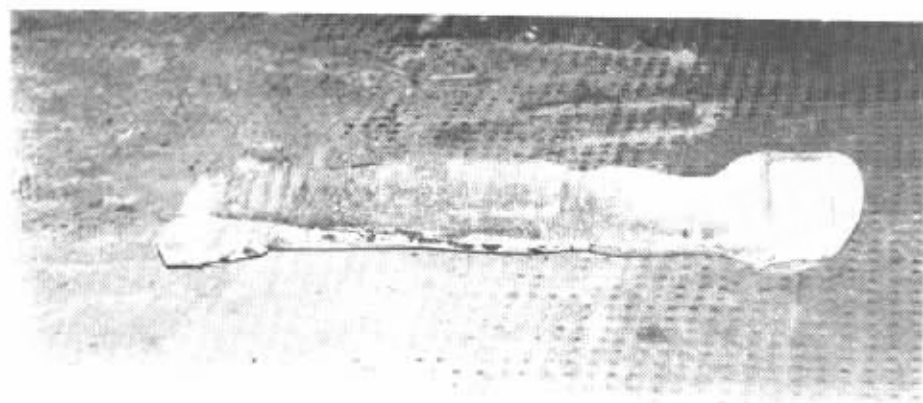


图1 模锻叶片毛坯(1:15)

Fig.1 Die forging of the blade

1.2 性能测试

为综合评价模锻叶片性能,在叶片的各部位进行了拉伸试验、冲击试验、室温缺口持久试验、400℃光滑持久试验、腐蚀疲劳试验、低倍组织和高倍组织试验。

2 实验结果与讨论

2.1 室温力学性能

叶片的力学性能测试见表1,由表1可知,整体叶片力学性能分布比较均匀,叶身的强度比叶根和叶顶的略高,塑性水平基本相同,叶身的冲击韧性比叶根和叶顶的略低,叶身的硬度稍高。

表1 叶片各部位的室温力学性能

Table 1 Mechanical properties of the blade at room temperature

部位	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	延伸率 δ /%	断面收缩率 ψ /%	冲击韧性 /(J·cm ⁻²)	硬度(HB)
叶顶	825	925	12.5	44.0	46	280
叶顶	820	935	14.5	50.0	40	269
叶顶	835	930	13.0	44.5	36	287
叶身	855	945	14.0	49.0	33	291
叶身	890	975	14.0	49.0	33	273
叶身	835	940	13.5	51.5	35	269
叶身	830	930	15.0	47.0	37	269
叶根	860	945	13.5	44.0	44	276
叶根	815	920	15.5	45.0	47	268
叶根	810	915	13.0	37.0	34	275
叶根	820	935	13.5	39.0	42	254
叶根	815	920	15.5	45.0	47	269
叶根	810	915	13.0	37.0	34	276
叶根	820	935	13.5	39.0	42	254

2.2 室温缺口持久性能

本试验采用逐级加载持久试验,即第一应力持续一定时间不断裂,再增加第二应力试验一定时间,逐渐增加应力和时间,直至断裂.试验结果见表 2.由表 2 可知,叶身的室温缺口持久应力和时间明显比叶根和叶顶的高.

表 2 叶片各部位的室温缺口持久性能

Table 2 Notched stress rupture properties of the blade at room temperature

部位	σ_1/MPa	t_1/h	σ_2/MPa	t_2/h	σ_3/MPa	t_3/h	σ_4/MPa	t_4/h
叶顶	1100	100	1175	100	1225	5		
叶顶	1100	100	1175	100	1225	24		
叶身	1100	100	1175	100	1225	48	1275	24
叶身	1100	100	1175	100	1225	48	1275	12
叶根	1100	100	1175	100	1225	22		
叶根	1100	100	1175	100	1225	20		

2.3 400℃光滑持久性能

本试验与室温缺口持久试验方法相同,测试结果见表 3.由表 3 可知,叶身的 400℃光滑持久应力和时间明显比叶根和叶顶的高.

表 3 叶片各部位的 400℃光滑持久性能

Table 3 Stress rupture properties of the blade at 400℃

部位	σ_1/MPa	t_1/h	σ_2/MPa	t_2/h	σ_3/MPa	t_3/h	σ_4/MPa	t_4/h
叶顶	570	179						
叶顶	570	165						
叶身	570	280	620	32	670	15	720	0.5
叶身	570	280	620	32	670	24		
叶根	570	113						
叶根	570	104						

2.4 腐蚀疲劳性能

腐蚀疲劳性能测试结果见表 4.在 20℃大气中叶根的腐蚀疲劳强度极限比叶身的高;在 80℃蒸馏水、80℃3%NaCl 溶液和 80℃22%NaCl 溶液中腐蚀疲劳强度极限基本相同.

表 4 叶片各部位的腐蚀疲劳性能

Table 4 Corrosion fatigue properties of the blade

部位	腐蚀疲劳强度 $\sigma_{-1}10^7/\text{MPa}$			
	20℃大气	80℃ H ₂ O	80℃ 3%NaCl	80℃ 22%NaCl
叶身	≥412	≥363	≥382	≥294
叶根	≥431	≥363	≥373	≥304

2.5 低倍组织

叶身低倍组织细小均匀,叶根和叶顶可见到明析的锻造流线(图片略).

