

热处理制度对航空发动机用 TC11合金 组织和性能的影响

林海峰, 曹继敏, 杨宏进, 罗斌莉

(西北有色金属研究院赛特公司, 陕西 西安 710021)

摘 要:研究了不同热处理制度下 TC11钛合金锻件的组织和性能。结果表明, 在空冷的条件下, 随着温度的升高, β 转变组织体积增加, 初生 α 含量减少同时体积增大; 当热处理温度达到 1020℃时组织变成了典型的 β 区冷却后针状马氏体组织; 随着温度的继续升高, 等轴 α 相完全消失, 形成了完全由 β 转变组织构成的层状结构。拉伸试验研究表明, 950℃/2h/AC+530℃/8h/AC条件下得到的组织具有较好的综合力学性能, R_m 为 1050~1100 MPa, $R_{p0.2}$ 为 950~1000 MPa, A为 10%~16%, Z为 30%~35%, 其它各项技术性能也符合要求。

关键词:航空发动机锻件; TC11钛合金; 组织; 性能

中图分类号: TG146.2⁺3 **文献标识码:** A

TC11钛合金属于 TiAlMo-ZrSi系马氏体型 $\alpha+\beta$ 双相热强钛合金, 可在 500℃下长期工作, 是一种重要的宇航和航空材料, 主要用于航空关键部件以及飞机结构件^[1-2]。该材料不仅具有比强度高、中温性能好、耐腐蚀性能好、质量轻等优点, 还具有很好的工艺性能, 可进行热加工、焊接和各种形式的机加等^[3-4]。热处理工艺是保证 TC11合金具有良好综合性能匹配的重要环节, 因此研究工艺参数对 TC11钛合金显微组织和力学性能的影响, 对制定工艺过程, 改善合金性能具有一定的指导意义。

1 实验方法

1.1 实验材料及规格

试验用材料为真空自耗电弧炉两次熔炼 $\phi 440$ mm TC11铸锭, 其化学成分 (质量分数, %) 为 Al 5.8~7.0, Mo 2.8~3.8, Zr 0.8~2.0, Si 0.2~0.25。铸锭在 β 相区开坯锻造后, 经过多次的中间锻造, 制成一定尺寸的坯料, 最后在 $\alpha+\beta$ 两相区锻造成 $\phi 360$ mm的饼材, 锻后空冷。

采用差热法测得合金的 β 相转变温度 $T_\beta = 1000 \pm 5^\circ\text{C}$ 。热处理试样为圆棒体, 尺寸为

$\phi 10\text{mm} \times 10\text{mm}$, 腐蚀剂选用 5% (质量浓度) HF 水溶液。

1.2 仪器设备

试样在国产 SX-10型实验电炉中加热, 温度由 UJ-33a型电位差计控制热电偶实现, 温度偏差 $\pm 5^\circ\text{C}$; 在奥林巴斯 PMG-3型显微镜上进行组织观察和照相, 用 Instron1251万能实验机以 1mm/min的速度进行拉伸试验。

1.3 热处理工艺制定

航空发动机用零件的热处理一般采用双重退火工艺制度 (950℃, 1~2h空冷 + 530℃, 6~8h空冷或首次退火温度允许在 β 相变点以下 30~50℃范围内调整)。为了探索热处理工艺对锻件组织和性能的影响, 测试对比了不同制度热处理后的组织和性能, 热处理工艺如表 1。

表 1 TC11合金热处理工艺

试样编号	热处理制度
1	950℃/2h/AC+530℃/8h/AC
2	970℃/2h/AC+530℃/8h/AC
3	1020℃/2h/AC+530℃/8h/AC
4	1050℃/2h/AC+530℃/8h/AC

收稿日期: 2010-09-20

基金项目: 2009年西安市工业发展专项资金 (GY2X09-02-37)。

作者简介: 林海峰, 工程师, 硕士, E-mail: linhaifeng-nit@163.com。

2 实验结果分析

TC11合金试件的显微组织由白色的 α 相和黑色的 β 相组成。 α 相是合金元素溶入 α -Ti 中形

成的固溶体,呈密排六方结构, β 相是合金元素溶入 β -Ti 中形成的固溶体,呈体心立方结构,该合金中还存在少量 Ti_3Al 化合物相,在显微组织金相照片中难以分辨^[5]。图 1 和表 2 所示分别为不同热处理制度下 TC11 合金显微组织及力学性能。

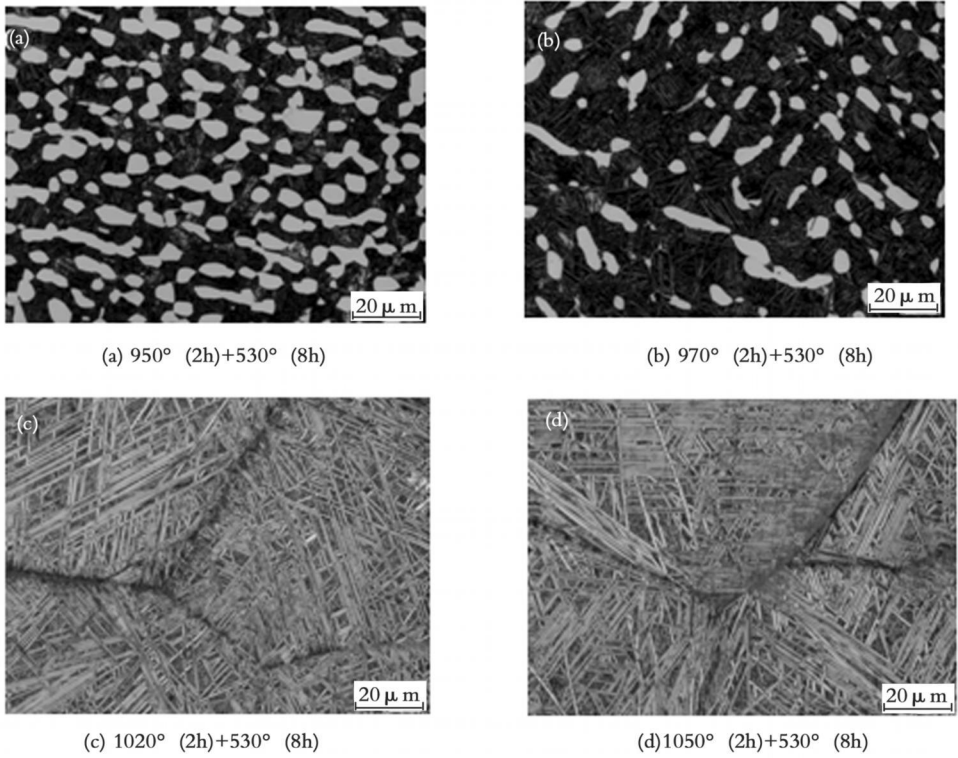


图 1 不同热处理制度下 TC11 合金显微组织

表 2 不同热处理制度下的力学性能

热处理 制度	室温力学性能			
	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A /%	Z /%
1	1070	965	13.5	32.0
	1080	960	15.5	35.0
2	1060	930	15.0	32.0
	1060	920	13.0	30.0
3	1050	895	13.0	31.0
	1040	900	14.0	29.0
4	1040	900	13.0	29.0
	1030	890	12.0	28.0
标准	≥ 980	≥ 830	≥ 6.0	≥ 14.0

图 1(a)为 1 号试样的显微组织金相照片,它是经 950℃ /2h /AC + 530℃ /8h /AC 处理后的得到的,其显微组织为均匀的等轴初生 α 相 (白色)和 β 转变组织 (黑色);随着温度的升高, β 转变组

织体积稍有增加,初生 α 含量有所减少,同时体积有所增大,见图 1(b);经 1020℃ /2h /AC + 530℃ /8h /AC 处理后的组织变成了典型的 β 区冷却后针状马氏体组织,见图 1(c);当热处理温度达到 1050℃ 时,形成了完全由 β 转变组织构成的层状结构,见图 1(d)。从 950—1020℃ 组织发生了巨大变化,分析认为在接近相变点的近 β 区,正处在 α 相和 β 相转化的临界区域,转化的数量和转化的时间成正比关系。转化的温度和转化的时间只要有一方面未达到条件,部分等轴 α 就会保留下来,在随后的冷却过程中 β 相将过饱和,会在晶界和晶内析出片状 α 。可以看出,不同热处理温度通过影响热处理过程中 α 向 β 相转变行为,进而得到不同的热处理组织形态。

从表 1 可以看出,经 4 种热处理制度处理后,其室温力学性能均满足标准要求,随着热处

理温度的升高,材料强度变化不大,但塑性指标有所降低,这是因为随着温度的升高,初生 α 相相对减少的缘故。综上所述, $950^{\circ}\text{C} / 2\text{h} / \text{AC} + 530^{\circ}\text{C} / 8\text{h} / \text{AC}$ 热处理后得到的组织是我们期望的组织,并且可以保证强度指标和塑性指标较佳的配合,为此可以确定成品热处理制度为 $950^{\circ}\text{C} / 2\text{h} / \text{AC} + 530^{\circ}\text{C} / 8\text{h} / \text{AC}$ 。

3 结论

(1)随着温度的升高, β 转变组织体积增加,初生 α 含量减少,同时体积增大;当热处理温度达到 1020°C 时组织变成了典型的 β 区冷却后针状马氏体组织;随着温度的继续升高,等轴 α 相完全消失,形成了完全由 β 转变组织构成的层状结构。

(2)航空发动机壳体用锻件可以用 $950^{\circ}\text{C} / 2\text{h} / \text{AC} + 530^{\circ}\text{C} / 8\text{h} / \text{AC}$ 的热处理制度,热处理后锻件的显微组织为均匀的两相区加工组织,有较好的综合力学性能。

参考文献:

- [1] 鲍丽索娃 E A. 钛合金金相学 [M]. 北京:国防工业出版社, 1986.
- [2] Lana Lineberger Titanium aerospace alloy [J]. Advanced Materials & Process 1998(5): 45.
- [3] 郭鸿镇. TC11 钛合金叶片组织和性能控制 [J]. 航空学报, 1997(3): 189.
- [4] 李明怡. 航空用钛合金结构材料 [J]. 世界有色金属, 2000(6): 17.
- [5] 唐光昕, 朱张校. TC11 钛合金在不同热处理制度下的组织分析 [J]. 稀有金属, 2002, 26(2): 146—148.

The Effect of Heat Treatment on Microstructure and Properties of TC11 Alloy

LN Hai-feng CAO Jim in YANG Hong-jin LUO Bin-li

(Xi'an SMA Materials Co Ltd Xi'an 710021, China)

Abstract: The effects of heat treatment system on microstructure and properties of TC11 titanium alloy were investigated. The results showed that with rising of temperature at air cooling condition, β phase volume of TC11 titanium alloy increase, fraction of α phase decreases while the volume increase. When the temperature exceeds 1020°C , microstructure morphology of the alloy changes to fine acicular martensite microstructure. As the temperature continues to rise, α phase completely disappeared and further changes to widmanstatten and lamellar microstructure. The best mechanical properties of TC11 alloy are achieved after heat treating under a condition of $950^{\circ}\text{C} / 2\text{h} / \text{AC} + 530^{\circ}\text{C} / 8\text{h} / \text{AC}$, those are R_m 1050—1100 MPa, $R_{p0.2}$ 950—1000 MPa, A 10%—16%, Z 30%—35%.

Keywords: TC11 alloy; Microstructure; Performance

(编辑:房威)