

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°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。拉伸试验研究表明, $950^{\circ}\text{C} /2\text{h}/\text{AC} + 530^{\circ}\text{C} /8\text{h}/\text{AC}$ 条件下得到的组织具有较好的综合力学性能, R_m 为 $1050 \sim 1100 \text{ MPa}$, $R_{p0.2}$ 为 $950 \sim 1000 \text{ MPa}$, A 为 $10\% \sim 16\%$, Z 为 $30\% \sim 35\%$, 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 Ti-Al-Mo-Zr-Si系马氏体型 $\alpha + \beta$ 双相热强钛合金, 可在 500°C 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 $\phi 440\text{mm}$ 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, 经过多火次的中间锻造, 制成一定尺寸的坯料, 最后在 $\alpha + \beta$ 两相区锻造造成 $\phi 360\text{mm}$ 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 $1\text{mm}/\text{min}$ 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 ($950^{\circ}\text{C}, 1\text{--}2\text{h}$ 空冷 $+ 530^{\circ}\text{C}, 6\text{--}8\text{h}$ 空冷或首次退火温度允许在 β 相变点以下 $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$ 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	$950^{\circ}\text{C} /2\text{h}/\text{AC} + 530^{\circ}\text{C} /8\text{h}/\text{AC}$
2	$970^{\circ}\text{C} /2\text{h}/\text{AC} + 530^{\circ}\text{C} /8\text{h}/\text{AC}$
3	$1020^{\circ}\text{C} /2\text{h}/\text{AC} + 530^{\circ}\text{C} /8\text{h}/\text{AC}$
4	$1050^{\circ}\text{C} /2\text{h}/\text{AC} + 530^{\circ}\text{C} /8\text{h}/\text{AC}$

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-nii@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 $TiAl$ 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。

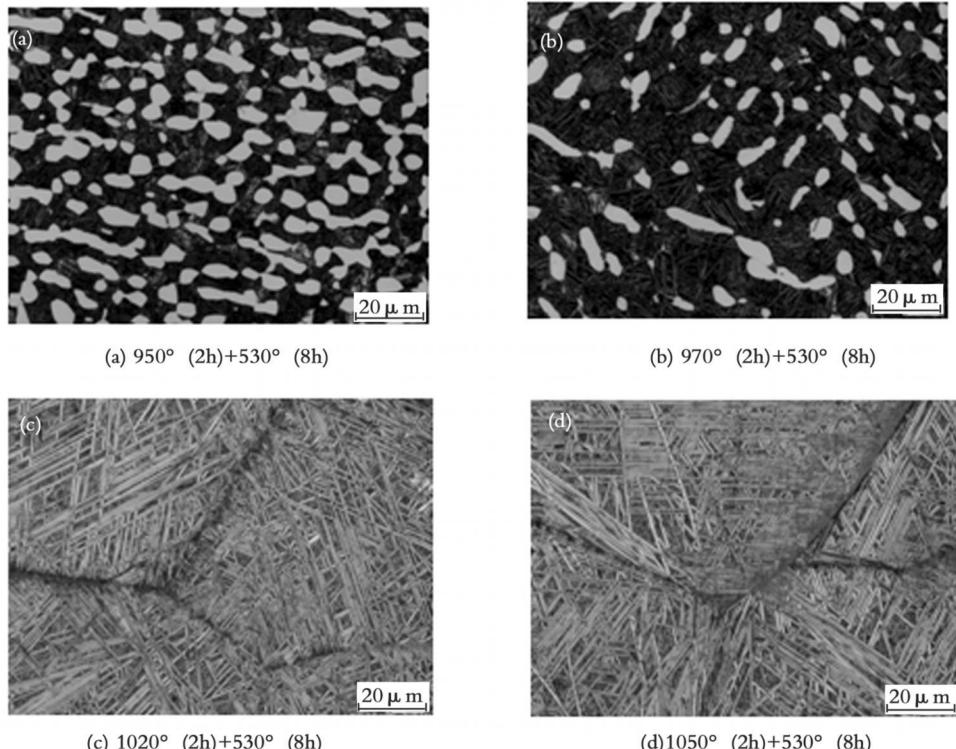


图1 不同热处理制度下TC11合金显微组织

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°C /2h/AC+530°C /8h/AC处理后得到的,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°C /2h/AC+530°C /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°C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°C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°C /2h/AC + 530°C /8h/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°C /2h/AC + 530°C /8h/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°C /2h/AC + 530°C /8h/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] 唐光听, 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

LIN Hai-feng CAO Jimin YANG Hong-jin LUO Bin-li

(Xian SMA Materials Co Ltd Xian 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°C /2h/AC + 530°C /8h/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)