

Ti-6Al-4V 合金棒材 α 层厚度的测定

邵 军, 朱玉香

(宝鸡钛业股份有限公司, 宝鸡 721014)

摘 要: 钛材表面形成的氧化层是由钛的氧化物(TiO_2)和 α 层两部分组成的。讨论了用金相法测定 TC4 合金棒材的 α 层厚度时, 加热温度、加热时间与 α 层厚度的关系, 采用扩散方程对该试验数据进行了校对验算。从而得出: 在成品生产工序中, TC4 合金棒材的 α 层厚度一般不超过 0.15 mm。

关键词: 金相法; α 层厚度; Ti-6Al-4V 合金

中图分类号: TG 146.2

文献标志码: A

Determination of α -layer thickness for Ti-6Al-4V alloy bar

SHAO Jun, ZHU Yu-xiang

(Baoji Titanium Industry Co., Ltd., Baoji 721014, China)

Abstract: The oxide layer on titanium and titanium alloys during heating is made of titanium dioxide and α -layer. The relationship among the heating temperature, heating time and α -layer thickness of Ti-6Al-4V alloy bars was determined by metallographical testing method. Then, the results were corrected by diffusion equation. The result shows that the α -layer thickness is less than 0.15 mm when the final products are heated.

Key words: metallographical method; α -layer thickness; Ti-6Al-4V alloy

钛材在加热过程中, 表面会形成氧化层(膜)。不同的加热温度, 氧化层的结构不同(图 1)^[1-2]。本质上, 氧化层由 2 部分组成: 钛的氧化物和 α 层。氧化层与加热制度的关系见图 2, 但 α 层的厚度问题却未涉及。实际上, 供货时棒材 α 层也必须去掉, 所以, 测定 α 层的厚度对制定棒材磨削工艺非常重要^[3]。

1 测试方法

将磨光的 TC4 棒材($d(10 \pm 0.005)$ mm)放置在电阻炉内(750, 850, 950)加热 15~120 min。制备金相试样, 在金相显微镜下观察, 用显微镜标尺测定氧化层厚度, 该氧化层的厚度包括了氧化膜脱落部分及 α 层厚度。

2 结果与分析

氧化层厚度与加热温度和保温时间的关系见图

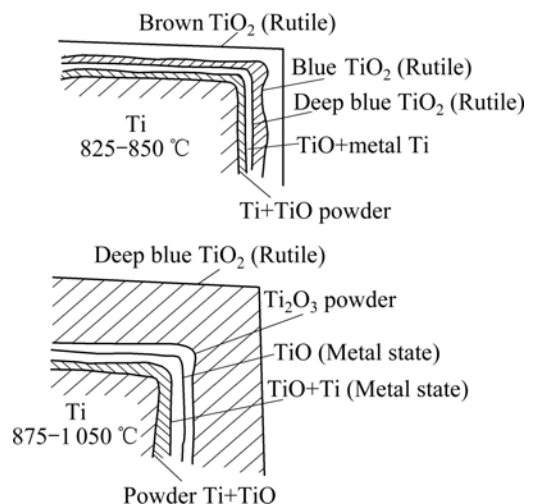


图 1 工业纯钛在不同温度下的氧化膜结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of dioxide layer of titanium heated at different temperatures

3, TC4 在 950 保温 2 h 后的金相组织见图 4。从图 4 中可以看到正常的两相($\alpha + \beta$)钛合金组织、 α 层和表面的氧化膜^[4]。

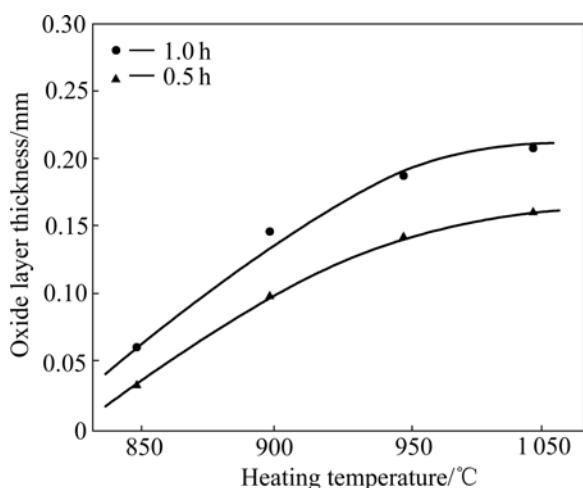


图2 TC4合金在碳硅棒炉中污染层深度与加热温度的关系

Fig.2 Relationship between oxide layer thickness and temperature of Ti-6Al-4V alloy

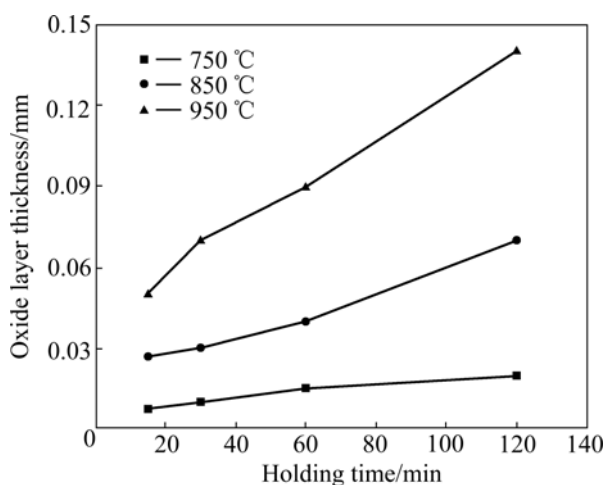


图3 加热温度、保温时间与氧化层厚度的关系

Fig.3 Relationship among heating temperature, time and oxide layer thickness

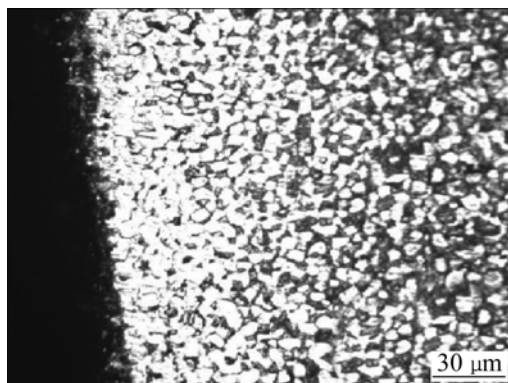


图4 TC4棒材 950 °C /2 h 显微组织

Fig.4 Microstructure of Ti-6Al-4V at 950 °C /2 h

由图3可见:在750~950 °C加热2 h,氧化层厚度不超过0.15 mm。在较高温度加热形成的氧化层达到一定厚度就会自然脱落^[5]。在950 °C加热2 h的试样中一部分氧化层已经脱落,实际过程是: α 层向中心移动, α 层外端转化成氧化膜逐渐脱落, α 层厚度变化不大^[6]。

氧分子由表面向中心的运动是一个扩散过程。将TC4合金视为均匀介质,其扩散方程如下:

$$u_t = a^2 \Delta u \quad (1)$$

式中: u 是扩散速度, D 是扩散系数, Δ 是拉普拉斯算符。

把试样看作半无限大的物体,刚扩散方程的解为

$$1 - \frac{c_x - c_0}{c_s - c_0} = \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right] \quad (2)$$

式中: c_0 为合金中原始氧浓度, $c_s=14.3\%$ (质量分数), c_x 为在温度 T 暴露时间 t 后,距金属/氧化物界面为 x 处的氧浓度, erf 为误差函数。氧的扩散系数可以表示为

$$D = D_0 \exp \left[-\frac{Q}{RT} \right]$$

式中: Q 为扩散激活能, R 为摩尔气体常数, T 为绝对温度。

在温度、时间和深度 x 一定的情况下,式(2)中的 c_x , c_s , c_0 都是一定的,公式左端是常数,公式右端误差积分中的因子也是常数,即:

$$\frac{x}{2\sqrt{Dt}} = K \quad (3)$$

两边取对数,则有

$$2 \lg x = k' + \lg D + \lg t \quad (4)$$

式(4)说明在温度一定时,氧化层厚度 x 和时间 t 呈双对数关系。图5是不同温度的氧化层厚度—时间双对数曲线。可见:750 °C和950 °C的数据和拟合直线符合较好,850 °C数据和拟合直线有些差异,考虑到金相法测量本身不精确,这样的误差是可以接受的。

4 结论

1) 氧化层的厚度随加热温度的升高、保温时间的延长而增加,与保温时间呈双对数关系。

2) 相变点以下加热轧制,棒材的氧化层厚度不超过0.15 mm。

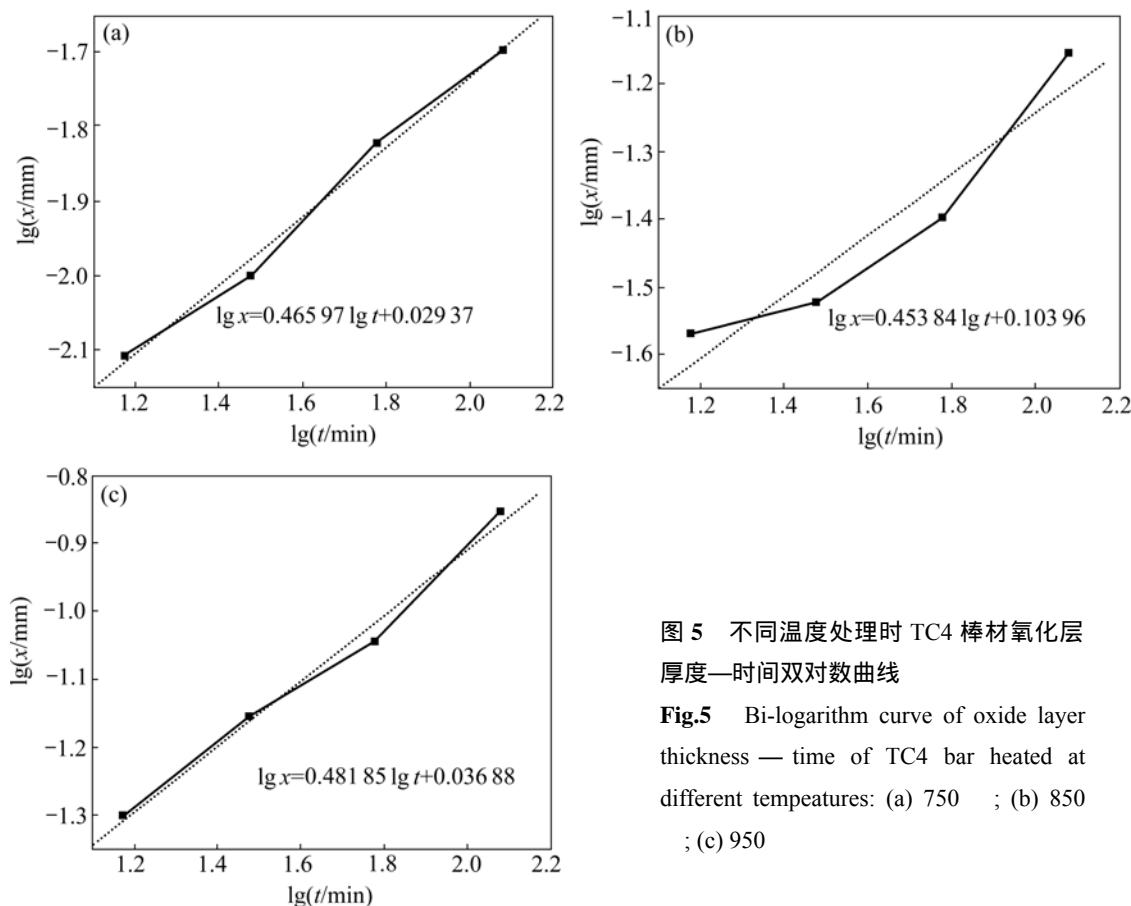


图5 不同温度处理时 TC4 棒材氧化层厚度—时间双对数曲线

Fig.5 Bi-logarithm curve of oxide layer thickness — time of TC4 bar heated at different temperatures: (a) 750 ; (b) 850 ; (c) 950

REFERENCES

- [1] 李成功, 傅恒志, 于 翹. 航空航天材料[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 57–65.
LI Cheng-gong, FU Heng-zhi, YU Qiao. Aerospace material [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002: 57–65.
- [2] 李青云, 王道隆, 刘雅庭. 稀有金属材料加工手册[M]. 冶金工业出版社, 1984: 50.
LI Qing-yun, WANG Dao-long, LIU Ya-ting. Handbook of rare metal materials manufacturing [M]. Metallurgical Industry Press, 1984: 50.
- [3] 王金友, 葛志明, 周彦邦. 航空用钛合金[M]. 上海: 上海科技出版社, 1985: 216.
WANG Jin-you, GE Zhi-ming, ZHOU Yan-bang. Aerospace titanium alloys [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1985: 216.
- [4] SCOTT W W Jr, ROYER R, WELSCH G, COLLINGS E W. Materials properties handbook: Titanium alloys [M]. ASM International, 1994.
- [5] 张 钧, 李 东. 高温钛合金中的 α_2 相[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2002: 73.
ZHANG Jun, LI Dong. The α_2 phase of high temperature alloys [M]. Shenyang: Northeast University Publishing House, 2002: 73.
- [6] 万晓景, 曹名洲, 辛公春. Ti-679 合金在高温空气中氧的玷污[J]. 金属学报, 1979, 15: 563.
WAN Xiao-jing, CAO Ming-zhou, XING Gong-chun. Oxygen's contamination of Ti-679 at high temperature [J]. Metal Journal, 1979, 15: 563.

(编辑 杨 兵)