

TC4 钛合金的低温拉伸性能

Tensile Mechanical Properties of TC4 Alloy at 243K

王 琦

(西北工业大学 科技产业集团公司, 西安 710072)

WANG Qi

(Science Industry Group Company,

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

摘要: 通过对合金的显微组织、相组成以及拉伸性能曲线的分析, 研究了 243K 低温下 TC4 钛合金的拉伸行为, 结果表明: 243K 低温环境下 TC4 钛合金的拉伸强度和屈服强度都有所提高, 但延伸率有一定程度的下降; 合金的显微结构在光学显微尺度上没有明显变化, 但 α 固溶体的取向性变小。

关键词: TC4 钛合金; 显微组织; 拉伸强度; 屈服强度

中图分类号: TG146.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2009)03-0054-02

Abstract: The effects of low temperature of 243K on microstructure and tensile mechanical properties of TC4 alloy were studied. It was found that the tensile strength and yield stress of the alloy was increased and the elongation at break was decreased at 243K. No apparent change of microstructure was found and the directional growing of α -Ti was decreased.

Key words: TC4 titanium alloy; microstructure; tensile strength; yield strength

TC4 钛合金是 20 世纪 40 年代初期研制成功的一种中等强度的 $\alpha + \beta$ 型钛合金, 具有优良的综合性能, 誉称万能合金, 是最早最广泛用于飞机结构的通用钛合金, 包括板材、棒材和锻铸件等, 主要用于制作飞机结构中梁、接头和隔框等中等承力构件及紧固件、发动机风扇和压气机盘及叶片等^[1-3]。我国幅员广阔, 南北温差大, 最低温度曾达到 -52.3°C 。在低温环境及介质条件下, 材料内部组织结构可能会有所改变, 并引起材料的力学、物理性能的变化^[4-6]。如果 TC4 钛合金在低温环境中发生了影响材料性能的微观组织变化, 将对航空发动机的飞行寿命和飞机的飞行安全造

成极大的影响。因此了解 TC4 钛合金在低温环境条件下的力学和物理特性及微观组织变化, 对航空发动机与飞机的结构设计和构件的安全使用至关重要。

1 实验材料与实验方法

本工作所用 TC4 钛合金取自直径 14mm 的热轧棒材。该棒材的热处理制度为在 750°C 下保温 1.5h, 然后空冷。合金的化学成分如表 1 所示。TC4 棒材参照 GB/T 13239-2006 标准加工成如图 1 所示的低温拉伸试样。实验过程如下: 首先在室温下将试样夹持

表 1 TC4 钛合金化学成分(质量分数/%)

Table 1 Elements of TC4 titanium alloy (mass fraction/%)

Al	V	Fe	Si	C	N	O	H	Ti
6.13	4.24	0.15	0.05	0.05	0.03	0.10	0.008	Bal

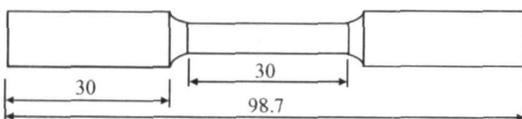


图 1 低温光滑拉伸试样形状和尺寸

Fig 1 Shape and size of sample for low temperature tensile testing

固定在恒温箱内; 然后利用液氮将恒温箱冷却到 243K; 试样在低温环境中静置 45min 后, 在该环境中以 0.2mm/min 的加载速率测试其拉伸性能。对原始状态试样和经过相同低温处理但没有进行拉伸测试的试样, 利用 X 射线衍射(XRD) 研究合金的相组成, 然后比较其变化。对原始状态试样和经低温处理后但没有进行拉伸测试的试样进行表面抛光和腐蚀后, 利用

金相显微镜对比观察合金的金相组织。腐蚀剂由 10mL HF, 5mL HNO₃ 和 85mL H₂O 混合而成。

2 结果与讨论

图 2 为 TC4 钛合金在 243K 低温下的典型拉伸应力-应变曲线。由图可知, TC4 钛合金在 243K 低温下的拉伸过程中, 当达到屈服强度后, 随着应变的增加, 应力略微增加, 当应变达到 2% 直到接近瞬断前, 应力基本维持不变即屈服强度很高。这说明 TC4 合金在低温下仍具有良好的塑性, 在恒应力下发生塑性滚动, 低温下拉伸断裂时, 出现颈缩现象, 呈现塑性断裂特征。

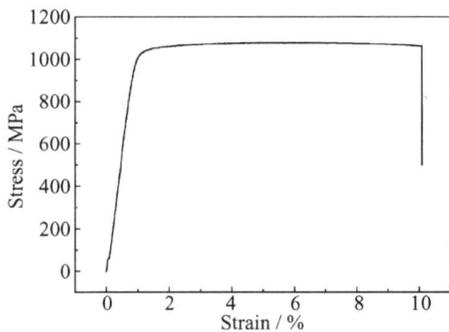


图 2 TC4 在 243K 时的典型拉伸应力-应变曲线

Fig 2 Typical stress-strain curve of TC4 titanium alloy at 243K

表 2 列出了 TC4 钛合金在室温下和 243K 低温下的拉伸性能。由表可知, TC4 钛合金在 243K 低温环境下的抗拉强度和屈服强度明显高于室温下的抗拉强度和屈服强度, 这说明, 低温处理使 TC4 的微观结构发生了有利于拉伸性能的变化, 因为其力学性能和使用性能在很大程度上取决于显微组织^[7]。但是 TC4 钛合金在低温下的延伸率明显降低了, 说明虽然 TC4 在 243K 低温下仍然具有良好塑性, 但是其塑性比室温有所下降。

表 2 TC4 室温和低温拉伸性能

Table 2 Tensile properties of TC4 at 293K and 243K

Temperature / K	Tensile strength	Yield strength	Elongation at break / %
	σ_0 / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	
293	925	840	16
	940	860	15
243	1078	1035.5	-
	1077	1036.5	10
	1079	1011.1	8

图 3 示出了 TC4 钛合金原始状态和经低温处理后的微观组织结构。由图 3a 可知, 原始状态时, TC4 是由 α 固溶体和存在于 α 晶粒间的 β 固溶体析出相, 即魏氏体 α 相组成。由图 3b 可知, 低温处理后, TC4 钛合金的显微结构在光学显微尺度下并没有明显的变化。

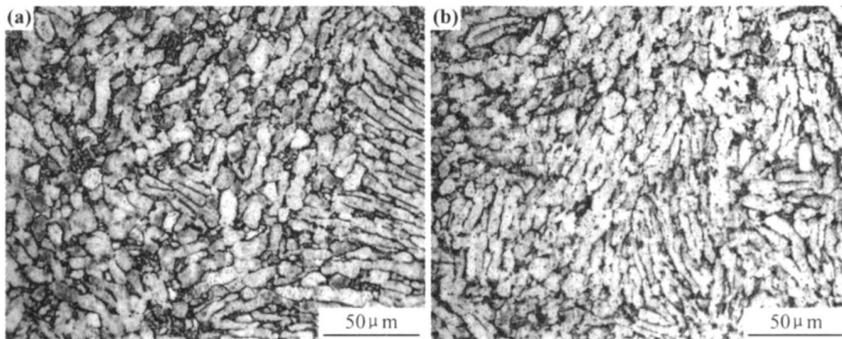


图 3 TC4 原始状态(a)和低温处理状态(b)的显微结构照片

Fig 3 Morphology of TC4 titanium alloy before (a) and after low temperature treatment (b)

图 4 给出了 TC4 钛合金原始状态和低温处理状态的 XRD 曲线, 图中 TC4 代表原始状态, TC4T 代表低温处理状态。由原始状态的 XRD 曲线可知, 原始 TC4 钛合金具有 α -Ti 和 β -Ti 两种相结构, 且 α 固溶体沿(101)晶面具有明显的取向生长, 这个结果与图 3 所示显微结构是一致的。低温处理后 TC4 钛合金中的相结构没有发生本质变化, 仍然是 α -Ti 和 β -Ti 两种相结构。从图中两个特征峰的强度来看, 低温处理前

后 β 固溶体的相结构基本没有变化。但低温处理后, α 固溶体的(101)晶面的特征峰强度变弱, 而其他晶面的特征峰强度没有改变, 说明 α 固溶体沿(101)晶面的取向变差。取向性变差后, 裂纹沿着(101)面持续扩展的难度变大, 钛合金的抵抗断裂的能力提高, 导致 TC4 钛合金在 243K 低温下的抗拉强度提高, 而塑性有所下降。

[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2006. 16- 17.

[3] 水丽. 晶体取向及结构对 SRR99 镍基单晶合金蠕变行为的影响 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2006. 32- 36.

[4] 李爱兰, 汤鑫. 热处理工艺对 K4169 合金微观组织的影响 [J]. 航空材料学报, 2006, 26(3): 311- 312.

[5] 骆宇时. 铼 (Re) 对单晶高温合金铸态组织的影响 [A]. 中国材料研究学会. 2004 年材料科学与工程新进展论文集 [C]. 北京: 冶金工业出版社, 2004. 719- 725.

[6] 李金国, 于金江, 赵乃仁, 等. 一种镍基单晶高温合金的显微偏析行为 [J]. 钢铁研究学报, 2003, 7: 260- 263.

[7] REN YINGLEIL, JIN TAO, GUAN HENGRONG, et al. Heat treatment on the evolution of α morphology of a single crystal nickel base superalloy [J]. Materials for Mechanical Engineering, 2001, 4: 7- 10.

[8] FOSTER S M, NIELASEN T A, NAGY P. Enhanced rupture properties in advanced single crystal superalloys [A]. Superalloys 1988 [C]. Pennsylvania: Warrendale, 1988. 245- 254.

[9] MA WENYOU, LI SHUSUO, QIAO MIN, et al. Effect of heat treatment on microstructure and stress rupture life of Ni-base single crystal superalloy [J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2006, 16: 937- 944.

[10] KOBAYASHI TOSHIHARU, HARADA HIROSHI, ZHAN JIANXIN. Influence of heat treatment on microstructure and mechanical properties of a 1st generation single crystal superalloy [J]. Journal of the Japan Institute of Metals, 2006, 7: 47- 50.

[11] RÜSING J, WANDERKA N. Rhenium distribution in themat

rix and near the particle matrix interface in a model Ni-Al-Ta-Re superalloy [J]. Scr Mater, 2002, 46: 235- 242.

[12] YUN H M. Effect of composition and microstructure on the creep and stress-rupture behavior of tungsten alloy wires at 1366-1500 K [J]. Materials Science & Engineering, 1993, A165: 65- 74.

[13] KEARSEY R M, BEDDOES J C, JAANSALU K M, et al. The effects of Re, W and Ru on microsegregation behaviour in single crystal superalloy systems [A]. SUPERALLOYS 2004 - Proceedings of the Tenth International Symposium on Superalloys [C]. United States: Metals and Materials Society, 2004. 801- 810.

[14] LI JIARONG, TANG DINGZHONG, LIU SHIZHONG, et al. Effects of rhenium on creep rupture life of a single crystal superalloy [J]. Journal of Materials Engineering, 1999, (2): 3- 7.

[15] LI JIARONG, TANG DINGZHONG, LAO RILING, et al. Effects of rhenium on creep rupture life of a single crystal superalloys [J]. Journal of Materials Science and Technology, 1999, 15(1): 53- 57.

基金项目: 国家自然科学基金 (50571070)

收稿日期: 2007-09-04; 修订日期: 2008-01-06

作者简介: 王明昱 (1975—), 男, 讲师, 博士研究生, 研究方向为材料加工工程, 联系地址: 长春工业大学材料学院办公室 (130012), E-mail: eming7645@sina.com

(上接第 55 页)

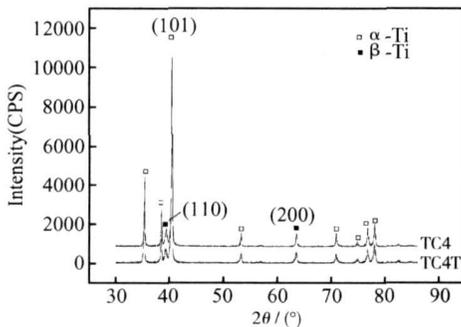


图 4 TC4 原始状态和低温处理状态的 XRD 曲线
Fig 4 XRD of TC4 titanium alloy before and after low temperature treatment

3 结论

- (1) TC4 钛合金在 243K 的拉伸强度和屈服强度高于室温时的值, 但延伸率有一定程度的下降。
- (2) 243K 低温下, α 固溶体取向性变差是 TC4 钛合金低温拉伸强度和屈服强度提高的原因。

参考文献

[1] 杨健. 钛合金在飞机上的应用 [J]. 航空制造技术, 2006, (11): 41- 43.

[2] 赵永庆. 钛合金 TC4 的研究开发与应用 [J]. 钛工业进展, 2003, 20(4- 5): 35- 40.

[3] 刘莹, 曲周德, 王本贤. 钛合金 TC4 的研究开发与应用 [J]. 兵器材料科学与工程, 2005, 28(1): 37- 50.

[4] 刘春立, 何涛, 富大欣. 航天结构材料低温力学性能测试技术 [J]. 低温工程, 1999, (3): 17- 23.

[5] 陈鼎, 黄培云. 钛和钛合金在低温下的力学性能 [J]. 矿冶工程, 2002, 22(3): 111- 114.

[6] 高禹, 何世禹, 杨德庄, 等. 低温对时效态 TC4 合金拉伸性能的影响 [J]. 材料科学与工艺, 2002, 10(4): 352- 356.

[7] 周伟, 曲恒磊, 赵永庆, 等. 热处理对 TC4 合金组织与性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2005, (8): 26- 27.

收稿日期: 2008-04-15; 修订日期: 2008-09-20

作者简介: 王琦 (1964—), 女, 副研究员, 从事合金显微组织与性能研究, 联系地址: 西安市西北工业大学物资楼二楼 736 信箱 (710072), E-mail: wangqi64@gmail.com