

# 热处理对 7715D 高温钛合金组织及力学性能的影响

陆 琦<sup>1,2</sup>, 罗月新<sup>2</sup>, 计 波<sup>2</sup>

(1. 同济大学 材料科学与工程学院, 上海 200092;  
2. 宝山钢铁股份有限公司 特殊钢事业部, 上海 200940)

**摘要:** 对 7715D 高温钛合金棒材进行不同的热处理, 研究不同热处理后的显微组织和力学性能的变化。研究结果表明: 随着冷却速率的加快, 强度显著提高。

**关键词:** 高温钛合金; 热处理; 显微组织; 力学性能

中图分类号: TF 804.3 文献标志码: A

## Effects of heat treatment on microstructures and mechanical properties of 7715D high temperature titanium alloys

LU Qi<sup>1,2</sup>, LUO Yue-xin<sup>2</sup>, JI Bo<sup>2</sup>

(1. School of Material Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;  
2. Special Steel Business Unit, Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 200940, China)

**Abstract:** The effects of heat treatment on microstructures and mechanical properties of 7715D high temperature titanium alloys were studied. The results show that with the increase of cooling rate, the strengths are obviously increased.

**Key words:** high temperature titanium alloy; heat treatment; microstructure; mechanical property

7715 合金系列是我国为满足航空航天材料方面的需求而自主研发的钛合金系列。从 7715A 发展至 7715D 已有 30 余年的历史<sup>[1]</sup>, 其最高使用温度可达 600<sup>◦</sup>C。7715D 具有较高的使用温度以及优良的性能。随着我国航空航天事业的蓬勃发展, 对高温钛合金的需求越来越大, 对其性能要求也越来越高<sup>[2]</sup>。本文作者通过不同的热处理制度来研究 7715D 钛合金组织性能的变化, 以便为进一步强化该合金的力学性能, 提高其强度提供参考。

## 1 实验

7715D 高温钛合金的名义成分为 Ti-6Al-3Sn-2Zr-2Mo-2Nb-微量 Si 及 Ce<sup>[3]</sup>。通过压制电极和等离子焊接, 进行 3 次真空自耗熔炼得到铸锭, 然后, 锻造开

坯再经过轧制获得 7715D 棒材。对棒材进行双重退火(固溶+时效), 在 980<sup>◦</sup>C 加热保温后以 3 种不同的方式(空冷、油冷、水冷)冷却, 再以 570<sup>◦</sup>C 进行时效热处理, 观察其组织变化并检测 600<sup>◦</sup>C 时的高温拉伸性能。

## 2 结果与分析

### 2.1 热处理对 7715D 钛合金组织的影响

对高倍组织进行观察分析发现: 轧态组织主要由初生  $\alpha$  相和转变  $\beta$  组织构成<sup>[4]</sup>。初生  $\alpha$  相较为粗大, 这不利于轧棒强度的提高(见图 1(a)和(b))。

#### 2.1.1 第一种方式热处理

经 980<sup>◦</sup>C 加热保温后空冷再进行 570<sup>◦</sup>C 时效退火, 组织形貌发生变化, 初生  $\alpha$  相球化且略有减少,  $\beta$  转变组织增加, 同时改善了组织定向有序排列的情况;

初生 $\alpha$ 相仍较粗大,并且层片状的转变 $\beta$ 组织较厚(见图2(a)和(b))。

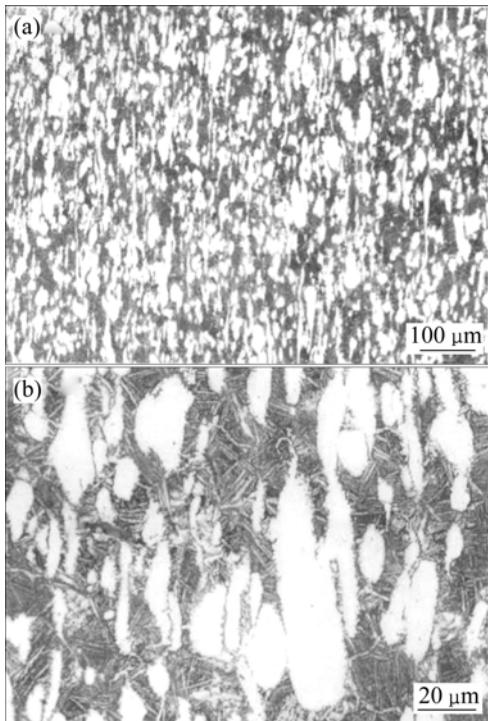


图1 7715D 轧态组织

**Fig.1** Microstructures of 7715D as-rolled: (a) Low magnification; (b) High magnification

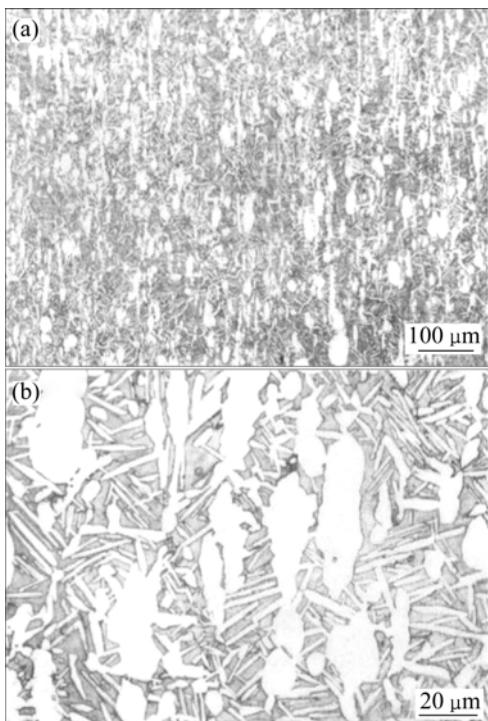


图2 第一种热处理方式对7715D的组织

**Fig.2** Microstructures of 7715D by the first heat treatment: (a) Low magnification; (b) High magnification

### 2.1.2 第二种方式热处理

加热温度不变,固溶退火中用油冷的方式冷却再进行570℃时效热处理。双重热处理后的组织仍是由层片状的转变 $\beta$ 组织和球化的初生 $\alpha$ 相组成的双态组织。与第一种热处理方式相比,初生 $\alpha$ 相粗大情况有所减缓,层片状的转变 $\beta$ 组织较薄(见图3(a)和(b))。

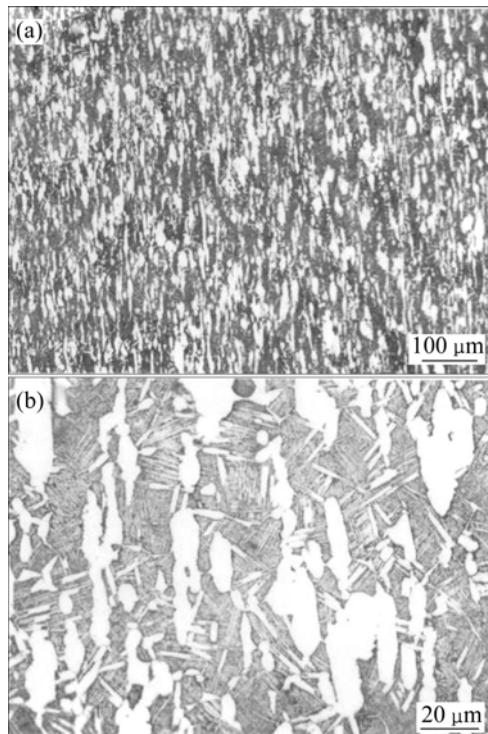


图3 第二种热处理方式对7715D的组织

**Fig.3** Microstructures of 7715D by the second heat treatment: (a) Low magnification; (b) High magnification

### 2.1.3 第三种方式热处理

进一步加快冷却速率,在980℃加热保温后进行水冷,570℃时效热处理不变。冷却速度的加快使轧态组织发生了相变<sup>[5]</sup>,转变 $\beta$ 组织变为非常细小的针状组织,并且初生 $\alpha$ 相形状较前2种热处理方式的显得更细小(见图4(a)和(b))。

## 2.2 热处理对7715D钛合金力学性能的影响

通过不同的热处理可以得到不同的显微组织。不同的显微组织对钛合金的力学性能有显著的影响。分别对经以上3种方式热处理的棒材进行600℃高温拉伸性能检测,测试结果如表1所示。

比较3组力学性能数据发现:经过第三种热处理方式后棒材的抗拉强度与屈服强度与比第一种热处理方式相比分别高116 MPa和50 MPa。实验结果表明:固溶处理中冷却速率越快,热处理后的转变 $\beta$ 组织和

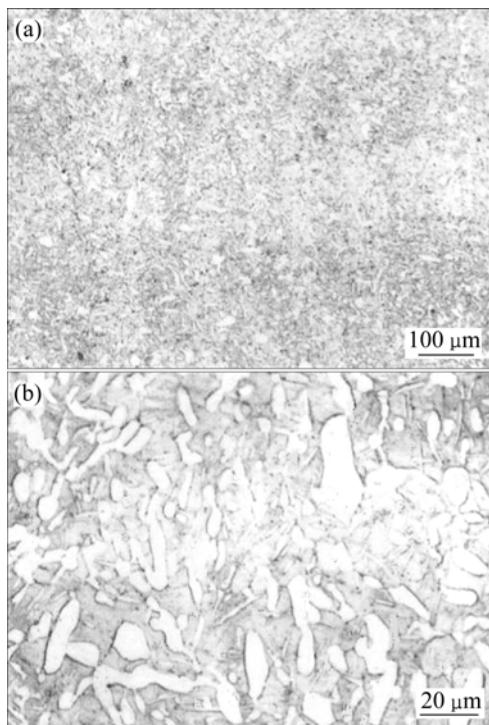


图 4 第三种热处理方式时 7715D 的组织

**Fig.4** Microstructures of 7715D by the third heat treatment:  
(a) Low magnification; (b) High magnification

表 1 不同热处理后合金的力学性能

**Table 1** Mechanical properties at different heat treatment conditions

Heat treatment	Temperature/	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	$R_b/\text{MPa}$
The first	600	649	525
The second	600	710	565
The third	600	765	575

初生  $\alpha$  相越细小。细化组织可使 7715D 高温钛合金棒材在 600 的抗拉强度及屈服强度明显提升。强度的提升更有利于该合金在航空航天方面的应用。

### 3 结论

- 1) 7715D 高温钛合金具有由转变  $\beta$  组织和初生  $\alpha$  相构成的双态组织, 通过不同的热处理制度可以产生不同的组织形貌。
- 2) 固溶处理中冷却速率越快, 热处理后的转变  $\beta$  组织和初生  $\alpha$  相越细小。
- 3) 细化组织可使 7715D 高温钛合金棒材在 600 的抗拉强度及屈服强度明显提升。

### REFERENCES

- [1] 罗月新, 陈克修, 许嘉龙, 韩宏印, 王爱勤. 7715D 高温钛合金的研制及其在 FY-25 发动机喷注器上的应用[J]. 上海钢研, 1996(6): 1-9.
- [2] 蔡建明, 李臻熙, 马济民, 黄旭, 曹春晓. 航空发动机用 600 高温钛合金的研究与发展[J]. 材料导报, 2005, 19(1): 50.
- [3] 陆琪, 罗月新. 7715D 高温钛合金板材的焊接性能研究[C]// 第六届长三角科技论坛.
- [4] 王金友, 葛志明, 周彦邦. 航空用钛合金[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 208.
- [5] C.莱茵斯, M.皮特尔斯. 钛及钛合金[M]. 北京: 化学工业出版社.

(编辑 陈灿华)