

显微组织对 TA15 合金高温拉伸性能的影响

Effect of Microstructure on High Temperature
Tensile Properties of TA15 Titanium Alloy

贺 飞¹, 陈海峰², 王玉会³

(1 沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035; 2 中国人民解放军驻

沈阳飞机工业(集团)有限公司军事代表室, 沈阳 110850;

3 北京航空材料研究院, 北京 100095)

HE Fei¹, CHEN Hai-feng², WANG Yu-hui³

(1 Shenyang Aircraft Design & Research Institute, Shenyang 110035, China;

2 PLA Military Representative Office in Shenyang Aircraft Industries

(Group) Co., Ltd., Shenyang 110850, China; 3 Beijing Institute of

Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

摘要: 研究了显微组织变化对 TA15 合金 500℃ 高温拉伸性能的影响。结果表明: 初生 α 相含量增加、 α 相方向性增强、次生 α 片变厚及 β 晶粒尺寸变粗大等显微组织的变化, 可使 TA15 合金 500℃ 高温抗拉强度降低, 最大降幅达 90MPa 以上。研究表明, 随初生 α 相含量增加, 增多了晶界数量, 而随温度升高晶界强度比晶粒强度下降快, 导致高温抗拉强度随初生 α 相含量增加而降低。

关键词: TA15 钛合金; 高温拉伸性能; 显微组织; α 相含量及形貌; β 晶粒尺寸

中图分类号: TG 146.23; TG113.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2012)02-0013-03

Abstract: The effect of microstructure on the high tensile properties at 500℃ of TA15 titanium alloy was studied. The results show that the increase of primary α phase content, the strengthening of α phase directional, the thickening of secondary α lamellae or the increase of β grain size can reduce the high temperature tensile at 500℃ of TA15 titanium alloy. The largest decrease of high temperature tensile is more than 90MPa by changing the microstructure. The analyses show that the number of grain boundaries is increasing with primary α phase content, and the descent speed of grain boundary strength is faster than that of the grain with the increase of temperature, resulting in the decrease of high temperature tensile.

Key words: TA15 titanium alloy; high temperature tensile property; microstructure; α -phase content and morphology; β grain size

TA15 合金具有中等的室温和高温强度、良好的热稳定性和焊接性能, 长时间(3000h)工作温度可达到 500℃, 主要用于制造 500℃ 以下长时间工作的飞机、发动机零件和焊接承力零部件, 在航空航天领域具有广泛应用。

在生产实践中, 若显微组织控制不当常常出现 TA15 合金高温性能偏低的现象。从而, 在保持综合性能优良的同时, 如何提高该合金的高温性能成为值得深入研究的课题。钛合金的显微组织决定了其力学性能, 除了组织均匀性要求外, 组织参数(如 β 晶粒尺

寸 D 、 α 集束尺寸 d 、 α 片层厚度 b 、和初生 α 的比例 α_p 及形貌)的合理匹配也发挥着重要作用, 是钛合金半成品的质量控制手段^[1-5]。 α 相(包括初生 α 相及次生 α 相)的含量、形态及 β 晶粒尺寸等作为质量控制的要素, 将对 TA15 合金的高温性能产生直接影响。

为了获得良好的综合性能, 往往采用在 TA15 合金($\alpha+\beta$)两相区变形, 变形量和变形温度决定了 α 相的含量、形态及 β 晶粒尺寸大小等显微组织特征^[6-12]。本工作主要针对不同显微组织类型对 TA15 合金 500℃ 高温拉伸性能的影响展开研究, 从而为钛

合金半成品的生产提供指导。

1 实验材料与方法

实验材料为 TA15 钛合金,其主要化学成分(质量分数/%)为:Al:6.66,Mo:1.74,V:2.25,Zr:2.11,N:0.007,O:0.098,H:0.0034,其余是 Ti。选取的实验件采用不同的锻造工艺及热处理工艺,以形成不同的组织形貌。

经热处理加工成标准的拉伸试样后,进行 500℃ 高温拉伸性能测试和组织观察,在 Instron-4507 实验

机上测定试样的 500℃ 高温拉伸性能,在 FEI Quanta600 扫描电子显微镜上进行组织观察和断口分析。

2 实验结果与分析

2.1 显微组织对高温拉伸性能的影响

锻造在 $\alpha+\beta$ 区进行,所讨论的组织均为初生 α + β 转变组织。采用不同锻造工艺及热处理工艺得到的 TA15 钛合金实验件显微组织如图 1 所示,其中实验件 1~5 均为双态组织(见图 1(a)~(e)),实验件 6 为等轴组织(见图 1(f))。

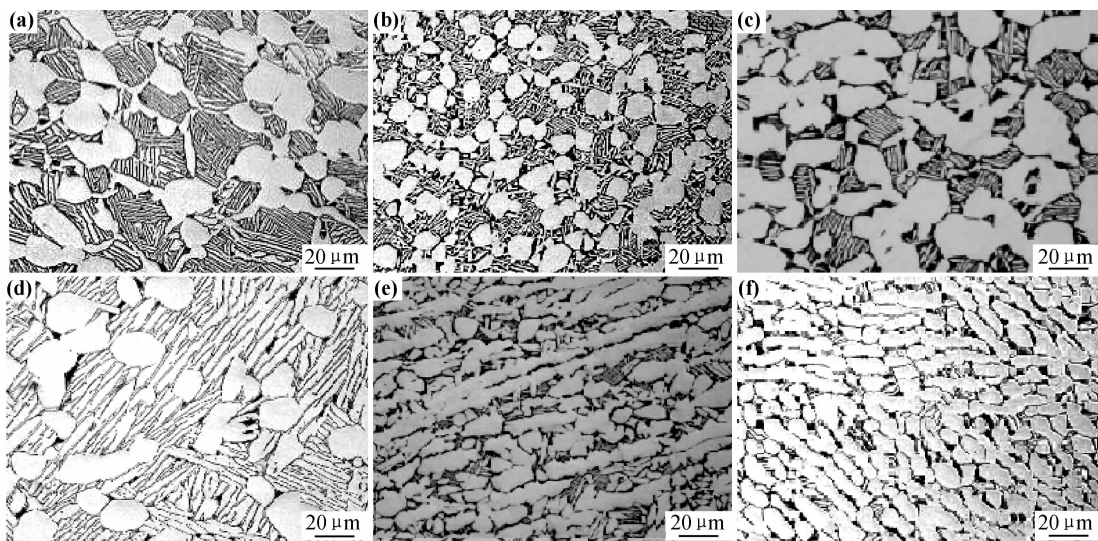


图 1 TA15 合金的显微组织

(a)实验件 1;(b)实验件 2;(c)实验件 3;(d)实验件 4;(e)实验件 5;(f)实验件 6

Fig. 1 Microstructure of TA15 alloy

(a)sample 1;(b)sample 2;(c)sample 3;(d)sample 4;(e)sample 5;(f)sample 6

实验件 1~3 为两相合金常见的双态组织,三者 β 转变组织编织有序,初生等轴 α 体积分数分别在 30%,46%及 64%左右。实验件 4~6 显微组织较为异常,其中实验件 4 再结晶的 β 晶粒已经发生了聚集长大, β 转变组织中 α 片很厚(厚度约 $5\mu\text{m}$);实验件 5 存在严重的长条粗大的初生 α 相;实验件 6 初生等轴 α 体积分数较大,约达到 81%,已是典型的等轴组织。

实验件 1~6 的高温拉伸性能如图 2 所示。由图 2(a)可见,实验件 1~6 的高温抗拉强度随显微组织不同有较大程度下降。其中,实验件 1 的高温抗拉强度最高,达到了 681MPa;实验件 6 最低,仅为 590MPa。可见,由于显微组织变化,高温抗拉强度可相差 90MPa 以上。由图 2(b)及图 2(c)可知,实验件 1~6 的高温拉伸塑性相差不大,均保持在较高水平(伸长率 $\delta_5 \geq 19\%$,断面收缩率 $\psi \geq 60\%$)。即,显微组织变化对高温拉伸塑性的影响相对较小。

2.2 分析与讨论

钛合金的高温拉伸行为比常温下复杂得多,受多种因素影响。通过研究发现,初生 α 相含量增加会使 TA15 合金高温抗拉强度下降。实验件 1~3 及实验件 6 的初生 α 相含量约分别为 30%,46%,64%及 81%,其高温抗拉强度也依次按 681,652,636MPa 及 590MPa 递减,其初生 α 相含量 α_p 与高温抗拉强度的关系见图 3。

TA15 合金高温抗拉强度随初生 α 相含量增加而下降主要与晶粒及晶界强度随温度升高变化幅度不同有关。在室温或较低温度下,金属材料的塑性变形主要通过晶内滑移和孪晶两种机制进行。晶粒边界是位错运动的阻碍,致使塑性变形抗力增大。在高温下,不会产生孪晶变形,也不会出现在较低温度下由于孪晶或位错塞积导致的脆性解理断裂。温度升高时(500℃),晶粒强度和晶界强度都要降低,但由于晶界

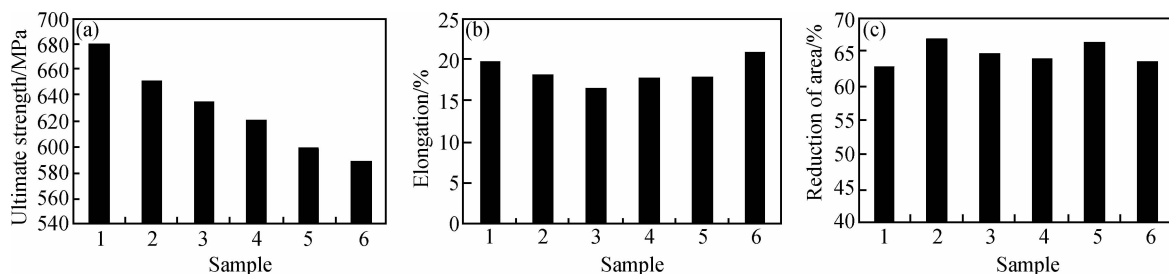
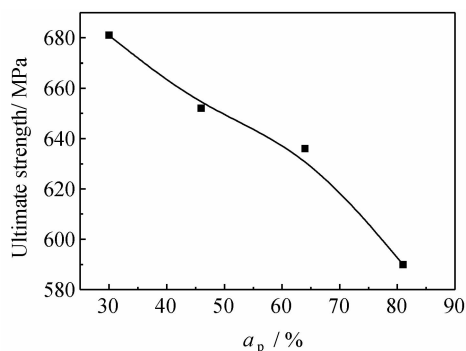


图2 不同显微组织的 TA15 合金 500℃ 高温拉伸性能

(a)抗拉强度;(b)伸长率;(c)断面收缩率

Fig. 2 High temperature tensile properties at 500℃ for TA15 titanium alloy of different microstructure

(a)ultimate strength;(b)elongation;(c)reduction of area

图3 TA15 合金初生 α 相含量与 500℃ 高温抗拉强度的关系Fig. 3 Effect of primary α phase content on the high temperature tensile strength at 500℃

上原子排列不规则,扩散容易通过晶界进行。因此,晶界强度下降较快,对塑性变形提供直接贡献。当初生 α 相含量增加时,相当于增加了晶界的数量,从而可导致合金高温力学性能的下降。

TA15 合金室温拉伸及 500℃ 高温拉伸的断口形貌见图 4。从图 4 可见,室温拉伸断口表现为明显的韧性断裂,其断口表面韧窝多而深(见图 4(a));而 500℃ 高温拉伸断口比较平坦,韧窝减少且变浅,表现为韧性及准解理断裂相混合(见图 4(b))。也即,随实验温度升高,TA15 合金的断裂由常温下的穿晶断裂向沿晶断裂过渡,出现穿晶断裂与沿晶断裂相结合的断裂方式。由此说明,500℃ 高温拉伸时,由于晶界强

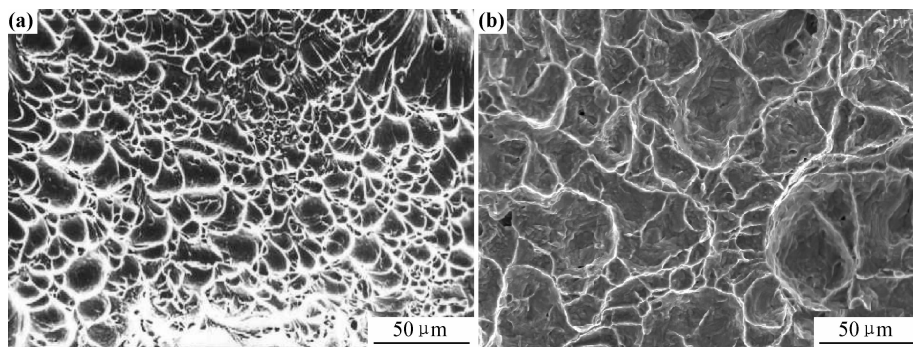


图4 TA15 合金拉伸实验后断口形貌

(a)室温拉伸;(b)500℃ 高温拉伸

Fig. 4 Tensile fracture surface of TA15 titanium alloy

(a)tensile at room temperature;(b)tensile at 500℃

度下降较快,其高温断口特征表现为韧性断裂为主、韧性和脆性特征共存的现象。

除了初生 α 相含量的影响外,初生和次生 α 相形态、 β 晶粒尺寸等及其合理匹配也是影响 TA15 合金高温拉伸性能的重要因素。实验件 4 的初生 α 相含量和实验件 1 相当,但是其高温抗拉强度却比实验件 1 约低 60MPa,甚至低于实验件 3。这是由于实验件 4 的 β 转变组织中次生 α 片厚、长,并且再结晶 β 晶粒过

于粗大。实验件 5 的组织中初生 α 相粗大、方向性强(呈长条状),这是导致其高温抗拉强度较低的主要原因。

3 结论

(1)在 $\alpha + \beta$ 区锻造的条件下,等轴的初生 α 相含

(下转第 19 页)