

热加工工艺对 BTi-6431S 钛合金厚板组织与性能的影响

杨 伟¹, 王 俭¹, 王红武¹, 董震键¹, 王小翔^{1,2}, 王伟琪^{1,2}

(1. 宝钛集团有限公司, 宝鸡 721014; 2. 宝鸡钛业股份有限公司, 宝鸡 721014)

摘 要: 研究两种热加工工艺对 BTi-6431S 高温钛合金厚板显微组织和力学性能的影响。结果表明, ($\alpha+\beta$) 轧制的厚板组织类型为类似于等轴的两相区加工组织, β 轧制的该合金厚板的显微组织为典型的细片状魏氏组织, 该组织厚板的室温和高温强度明显高于 $\alpha+\beta$ 轧制厚板的, 而塑性稍低; 该合金厚板在 650 °C 时具有较高的瞬时强度, 可用于宇航工业 650 °C 短时用结构件的制作。

关键词: BTi-6431S 钛合金; 厚板; 高温强度; 显微组织

中图分类号: TG 146.2⁺3

文献标志码: A

Effect of hot working process on microstructure and properties of BTi-6431S titanium alloy plate

YANG Wei¹, WANG Jian¹, WANG Hong-wu¹, DONG Zhen-jian¹, WANG Xiao-xiang^{1,2}, WANG Wei-qi^{1,2}

(1. Baoti Group Co., Ltd., Baoji 721014, China; 2. Baoji Titanium Industry Co., Ltd., Baoji 721014, China)

Abstract: The effects of two hot working processes on microstructure and properties of BTi-6431S high temperature titanium alloy plate were studied. The results show that the microstructure of plate in $\alpha+\beta$ rolling is similar to equiaxed two-phase working microstructure, and the microstructure in β rolling is typical fine lamellar Widmannstaetten structure. The strengths in β rolling at room temperature and high temperature are obviously higher than those in $\alpha+\beta$ rolling, while the ductility of plate in β rolling is slightly lower. The plates have higher high-temperature transient strength at 650 °C and can be used to make short time structure components at 650 °C for aerospace industry.

Key words: BTi-6431S titanium alloy; plate; high-temperature strength; microstructure

我国自主研发开发的 BTi-6431S 钛合金名义成分为 Ti-6.5Al-3Sn-3Zr-3Nb-3Mo-1W-0.2Si。它是一种使用温度在 650~700 °C 的短时高温钛合金, 其主要的强化机制是通过 α 稳定元素 Al 和 β 相的固溶强化。加入中性元素 Zr 和 Sn 以及 β 相稳定元素 Nb、Mo 和 W, 以改善工艺性能。该合金的名义 Al 当量为 8.9, Mo 当量为 4.6, 合金类型属高铝当量的马氏体型两相钛合金, 具有良好的热强性和可焊性, 并具有较好的加工塑性和工艺塑性。与 BT18Y 钛合金相比, BTi-6431S 钛合金中 Al 当量不变, 但提高了高熔点元素 Mo 含量和 Nb 含量, 同时还增加了 1% 的 W, 相对提高了 3.6% 的 Mo 当量, 通过增加高熔点元素来提高 Mo 当量, 因此, 提高了合金的高温强度, 同时也改善了合金的

加工塑性和工艺塑性。本文作者探讨了热加工工艺对 BTi-6431S 钛合金厚板组织与性能的影响, 通过分析比较不同热工艺下厚板的室温和高温(650 °C)性能及组织特征, 为该合金的批量化生产提供一定的理论基础和工艺制订参考。

1 实验

本实验选用经 2 次真空自耗电弧熔炼的 BTi-6431S 钛合金 $d110$ mm 铸锭, 除 Zr 元素采用纯金属加入外, 高熔点元素 W、Mo、Nb 和低熔点元素等均采用中间合金形式加入, 这保证了铸锭的高质量。

该合金的相转变温度为 990~1 000 °C。铸锭在 1 180 °C 开坯锻造,最终在两相区制备成板坯,板坯为 $\alpha+\beta$ 两相区加工组织。板坯分别采用 β 和 $\alpha+\beta$ 两种加热温度轧制成 20 mm 厚的板材。

为比较热加工工艺对组织性能的影响,分别对两种工艺下的 R 态板材取样测试其室温拉伸,高温拉伸,650 °C 持久和蠕变性能。金相试样从 R 态板材上切取,腐蚀液为 HNO_3 、HF 和 H_2O 的混合液,显微组织在 Axiovert200MAT 光学显微镜上观察。

2 结果与分析

2.1 两种轧制工艺厚板的显微组织

BTi-6431S 钛合金的 Mo 当量为 4.6,属高铝当量的马氏体型两相钛合金,两种轧制工艺下厚板显微组织如图 1 所示。从图 1 可以看出,板材经 $(\alpha+\beta)$ 相区温度成品轧制后,其组织为典型的 $\alpha+\beta$ 转变组织,初生 α 呈条状和等轴状形貌。 β 轧制工艺下,板材组织为细片层的魏氏组织,有不连续的晶界 α ,为典型的 β 加工组织^[1]。

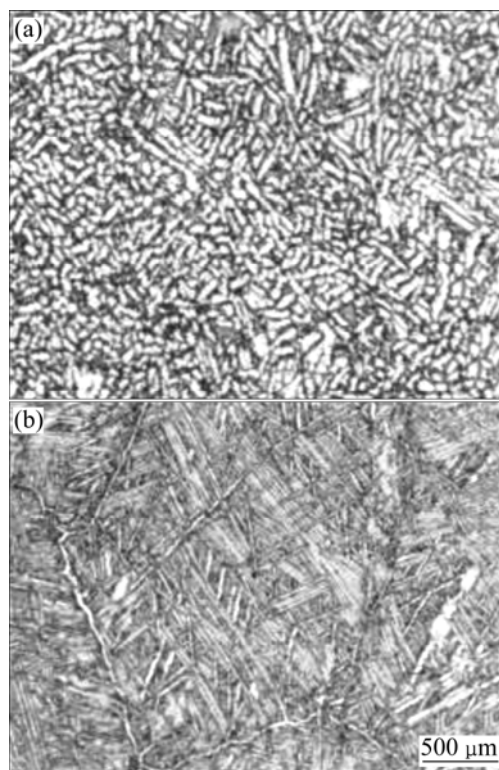


图 1 不同轧制工艺 BTi-6431S 厚板的显微组织

Fig.1 Microstructures of BTi-6431S alloy plate under different rolling processes: (a) Rolling at $(\alpha+\beta)$ temperature; (b) β rolling

2.2 两种轧制工艺厚板的室温力学性能

两种轧制工艺厚板的室温力学性能如图 2 所示。从图 2 可以看出,板材经 $(\alpha+\beta)$ 相区温度轧制后,其室温抗拉强度(R_m)在 1 140 MPa 左右,屈服强度($R_{p0.2}$)在 1 020 MPa 左右,伸长率(Z)约 10%,断面收缩率(A_5)约 26%; β 轧制厚板的室温抗拉强度在 1 220 MPa 左右,屈服强度在 1 080 MPa 左右,伸长率约为 6.5%,断面收缩率约为 12%。相比较而言, β 轧制厚板的室温强度高于 $(\alpha+\beta)$ 轧制厚板的,但其塑性明显降低。这也符合两种工艺厚板显微组织对室温力学性能的影响规律,即魏氏组织与等轴组织相比较,其室温强度相对较高,但室温塑性较低^[2]。

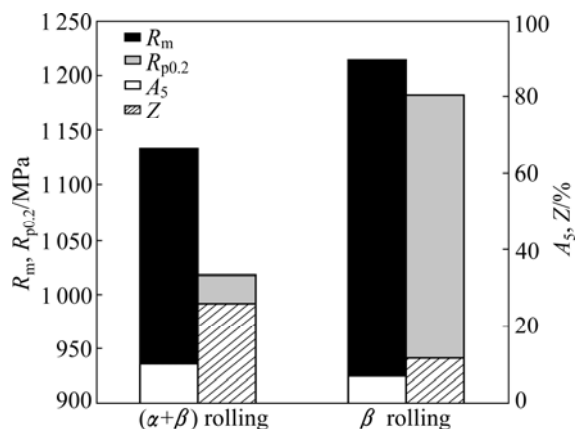


图 2 不同轧制工艺 BTi-6431S 厚板的室温力学性能

Fig.2 Mechanical properties of BTi-6431S alloy plate under different rolling processes at room temperature

2.3 两种轧制工艺厚板的高温力学性能

图 3 所示为两种轧制工艺厚板 650 °C 高温力学性能的比较。从图 3 可以看出,板材经 $(\alpha+\beta)$ 相区温度轧制后,其 650 °C 高温抗拉强度在 620 MPa 左右,屈服强度在 560 MPa 左右,伸长率约 28%,断面收缩率约 80%; β 轧制厚板的 650 °C 高温抗拉强度在 750 MPa 左右,屈服强度在 650 MPa 左右,伸长率约 32%,断面收缩率约 90%。相比较而言, β 轧制厚板的 650 °C 高温强度高于 $(\alpha+\beta)$ 轧制厚板的,其高温塑性也相对较高。

测试两种工艺下厚板在 650 °C 和 500 MPa 持续 30 min 的短时蠕变性能, $(\alpha+\beta)$ 轧制厚板的塑性伸长率为 20% 左右, β 轧制厚板的塑性伸长率为 3%~4%。可以看出, $(\alpha+\beta)$ 轧制厚板的塑性伸长率明显大于 β 轧制厚板的,这与两种工艺厚板的显微组织特征一致。 $(\alpha+\beta)$ 轧制厚板的显微组织为 $\alpha+\beta$ 转变组织,初生 α 多数呈等轴状,少量为长条状,并有部分次生 α ; β 轧制厚板的显微组织为片层状。根据相关文献^[3],对于近 α

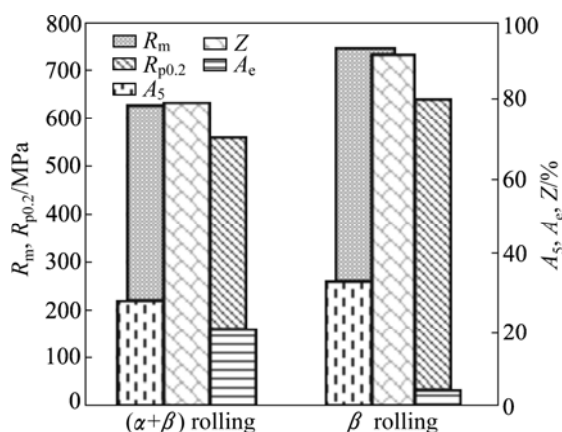


图3 不同轧制工艺 BTi-6431S 厚板高温(650 °C)力学性能

Fig.3 Mechanical properties of BTi-6431S alloy plate under different rolling process on high temperature

或 $\alpha+\beta$ 钛合金,通过在 β 转变温度以上进行热处理或加工可提高蠕变强度,冷却后,形成片层 α 组织;相反地,当在 $\alpha+\beta$ 两相区进行热加工及热处理时将形成由片状次生 α (β 转变组织)和球状初生 α (等轴 α)所组成的双态混合组织,导致蠕变阻力下降。因此,本研究结果与该文献中所研究的规律是一致的。

3 结论

1) 对于 BTi-6431S 钛合金厚板, ($\alpha+\beta$)相区温度

成品轧制后,其组织为典型的 $\alpha+\beta$ 转变组织, β 轧制工艺下,板材组织为细片层的魏氏组织,这种组织板材室温和高温(650 °C)强度高、高温塑性好。

2) BTi-6431S 钛合金具有较好的综合性能,尤其在 650 °C 时,具有较高的高温强度和短时蠕变性能,是一种新型的宇航用短时高温钛合金。

REFERENCES

- [1] 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: 115.
WANG Jin-you, GE Zhi-ming, ZHOU Yan-bang. Aeronautical titanium alloys [M]. Shanghai: Shanghai Sciences and Technology Press, 1985: 115.
- [2] 张均, 李冬. 高温钛合金中的 α_2 相[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2002: 174.
ZHANG Jun, LI Dong. α_2 ordered phase in high temperature titanium alloys [M]. Shenyang: Northeast University Press, 2002: 174.
- [3] LEYENS C, PETERS M. 钛与钛合金[M]. 陈振华, 译. 北京: 化学工业出版社, 2005: 27.
LEYENS C, PETERS M. Titanium and titanium alloys [M]. CHEN Zhen-hua transl. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 27.

(编辑 何学锋)