

氧含量对 TB8 钛合金力学性能的影响

张利军¹, 薛祥义^{1,2}, 常 辉^{1,2}

- (1. 西安西工大超晶科技发展有限公司, 西安 710016;
2. 西北工业大学 凝固技术国家重点实验室, 西安 710072)

摘 要: 为了揭示氧含量对 TB8 钛合金力学性能的影响规律, 通过熔炼生产不同氧含量的 TB8 钛合金铸锭, 研究了氧含量对其轧制棒材力学性能的影响。结果表明: 随着氧含量的增加, 合金相变点升高, 强度增加, 塑性降低。合金中平均氧含量每增加 0.01%, 相变点升高约 2 °C, 固溶+时效态抗拉强度增加约 22 MPa。

关键词: TB8 钛合金; 氧含量; 固溶; 力学性能; 相变点

中图分类号: TG146.2

文献标志码: A

Effect of oxygen content on mechanical properties of TB8 titanium alloy

ZHANG Li-jun¹, XUE Xiang-yi^{1,2}, CHANG Hui^{1,2}

- (1. Xi'an Super Crystal Sci-Tech Development Co., Ltd., Xi'an 710016, China;
2. State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In order to reveal the influence of oxygen content on the mechanical properties of TB8 titanium alloy, TB8 titanium alloy ingot with different oxygen contents was produced by melting, and the effect of oxygen content on the mechanical properties of the rolled bar was studied. The result show that when the oxygen content increases, phase transition point and strength increase, plasticity decreases, for each additional alloy average oxygen content of 0.01%, phase transition point increases by about 2 °C, solid solution plus aging tensile strength increases about 22 MPa.

Key words: TB8 titanium alloy; oxygen content; solution; mechanical properties; transformation point

众所周知, 在钛合金中氧、氮、碳是间隙固溶元素, 扩大 α 相区, 是 α 稳定元素, 在钛合金中大多是作为杂质元素存在。氧作为钛及钛合金的主要间隙元素之一, 多年来, 有很多学者研究了氧对合金的作用。有研究证明对于纯钛来说每增加 0.05% 的氧含量可使其强度增加近 60 MPa。由于氧含量对钛合金强度的影响极为敏感, 氧能提高钛合金的硬度和强度, 但是超过一定含量时将剧烈地降低合金的塑性、断裂韧性、冷成型性以及焊接性能, 因此要得到综合性能良好的合金, 在合金主元素含量一定的情况下, 必须把氧含量控制在适当的范围内。所以钛合金中的氧元素多数

情况都是按照合金元素控制, 而其他碳、氮等元素则是按杂质元素严格控制上限的, 为了使钛合金铸锭的氧含量控制在适当的范围内, 在合金铸锭熔炼生产过程中一般要刻意加入一定量的 TiO_2 ^[1-3]。本文作者研究了氧含量对 TB8 钛合金力学性能的影响, 为该钛合金的工业化生产和应用提供工艺参数。

1 实验

试验确定的 TB8 钛合金主合金元素名义化学成分

基金项目: 陕西省重大科技创新项目(2008ZKC 04-06); 西安市高新技术产业发展专项项目(GX11007)

收稿日期: 2013-07-28; 修订日期: 2013-10-10

通信作者: 张利军, 工程师; 电话: 029-86526917; E-mail: zhlj19811117@163.com

为 Ti-3.2Al-2.8Nb-15Mo-0.20Si^[4], 氧含量(质量分数)分别为 0.09%、0.10%、0.11%、0.12%、0.13%、0.14%、0.15%、0.16%和 0.17%。原材料选择同批次的一级小颗粒海绵 Ti、Ti-Mo、Ti-Nb 中间合金、Al 豆、Al-Si 中间合金和 TiO₂ 等。配料、制备电极完成后采用相同的 3 次真空自耗熔炼工艺生产出 8 支 d 280 mm 规格的成品铸锭(其中 1 支由于设备故障报废), 对成品铸锭扒皮后取样进行氧含量测定, 结果分别为 0.11%、0.12%、0.13%、0.14%、0.16%、0.17%、0.18%和 0.19% (3 次真空自耗熔炼平均增加氧含量为 0.02%)^[5-7]。

扒皮后的 8 支 TB8 成品铸锭经 β 区和($\alpha+\beta$)区加热锻造为 d 45 mm 规格棒材, 然后在($\alpha+\beta$)区加热轧制为 d 12 mm 规格小棒材, 最后取样进行合金的相变点($\alpha+\beta/\beta$ 转变温度)的测定及室温力学性能(试样热处理制度: 固溶 830 ℃、0.5 h、AC, 时效 520 ℃、8.5 h、AC) 的测试。相变点测定采用金相法在 OLYMPUS/PMG3 型光学显微镜上进行, 室温力学性能测试在 INSTRON 型电子万能试验机上进行。

2 结果与讨论

2.1 氧含量对合金相变点的影响

TB8 钛合金相变点实际测试结果及理论计算结果见表 1。从表 1 可以看出: 氧含量对 TB8 钛合金的相变点($\alpha+\beta/\beta$ 转变温度)影响是非常明显的, 随着氧含量的增加, 合金相变点升高, 实际金相法测定的合金相变点与化学成分理论计算法计算的数值基本保持一

表 1 TB8 钛合金相变点

Table 1 Transformation point of TB8 titanium alloy

No.	Oxygen content/%	Transformation point/℃	
		Metallographic way	Theory count way
1	0.11	815-820	816
2	0.12	815-820	818
3	0.13	820-825	820
4	0.14	820-825	822
5	0.16	825-830	826
6	0.17	825-830	828
7	0.18	830-835	830
8	0.19	830-835	832

致。氧元素作为钛合金的 α 稳定元素, 能够扩大钛合金的 α 相区, 提高 $\alpha+\beta/\beta$ 相转变温度^[3]。试验及理论计算结果显示氧含量平均每增加 0.01%, TB8 钛合金的相变点就升高 2 ℃ 左右。钛合金的相变点是制定其产品热加工工艺参数(锻造加热温度、热处理加热温度等)的主要依据。因此, 将钛合金中氧含量的波动控制在一个合理、较小的范围内使合金获得一个相对固定的相变点, 对指导工业化生产具体十分重要的意义。

2.2 氧含量对合金力学性能的影响

TB8 钛合金固溶态及固溶+时效态显微组织如图 1 所示。从图 1(a)可以看出: TB8 钛合金在相变点以上温度固溶处理后, 其显微组织为单一的 β 晶粒; 从图 1(b)可以看出: TB8 钛合金固溶并时效处理后, 其显微组织为在原始的 β 晶粒上均匀弥散析出大量的次生 α 强化相^[8-10]。

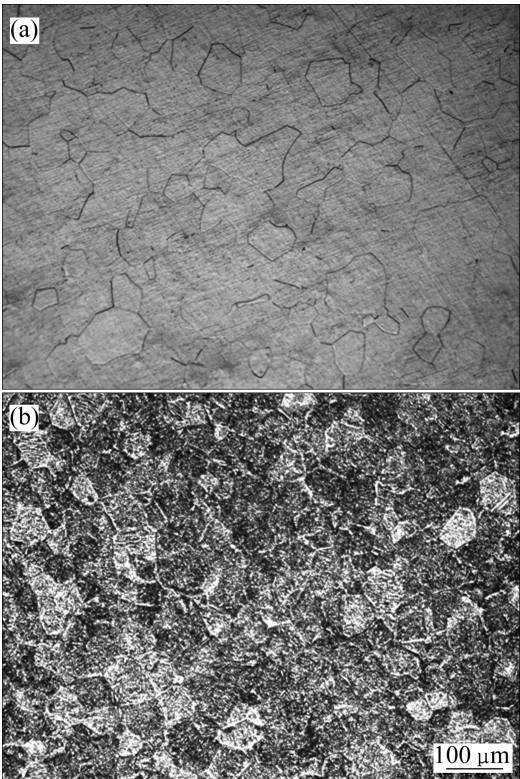


图 1 TB8 钛合金的显微组织
Fig. 1 Microstructures of TB8 titanium alloy: (a) Solution; (b) Solution and aged

氧含量对 TB8 钛合金固溶态及固溶+时效态力学性能的影响见图 2 和图 3。从图 2(a)和图 3(a)可以看出: 随着合金氧含量的增加, 其抗拉强度、屈服强度和剪切强度逐步升高。合金固溶态抗拉强度从最低的 887.5

MPa 升高到 995 MPa, 固溶态剪切强度从 665 MPa 升高到 720 MPa; 合金固溶+时效态抗拉强度从最低的 1 335 MPa 升高到 1 510 MPa, 固溶+时效态剪切强度从 815 MPa 升高到 848 MPa。从图 2(b)和图 3(b)可以看出: 随着合金氧含量的增加, 其伸长率和断面收缩率逐步降低, 伸长率随氧含量的变化幅度较断面伸长率要小, 同时氧含量高于 0.17% 时, 合金塑性下降更明显。合金固溶态伸长率从最高的 21% 降低到 16%, 固溶态断面收缩率从 70% 降低到 60%; 合金固溶+时效态伸长率从最高的 15% 降低到 9%, 固溶态断面收缩率从 51.5% 降低到 37%。氧原子进入合金内部, 使金属晶体晶格发生扭曲, 在产生应变应力的同时增加了位错运动的阻力, 从而提高了合金宏观室温屈服强度和断裂强度、降低了宏观塑性。氧含量越高, 金属晶格产生的畸变越严重, 合金宏观强度愈高、塑性愈低^[11]。

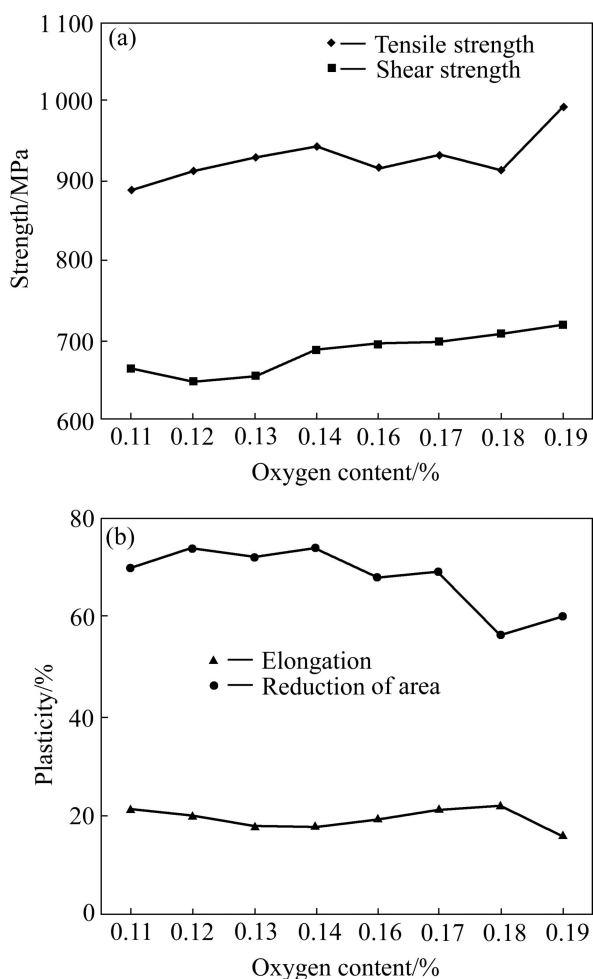


图 2 氧含量对合金固溶态力学性能的影响

Fig. 2 Effect of oxygen content on mechanical properties of alloy solution: (a) Strength; (b) Plasticity

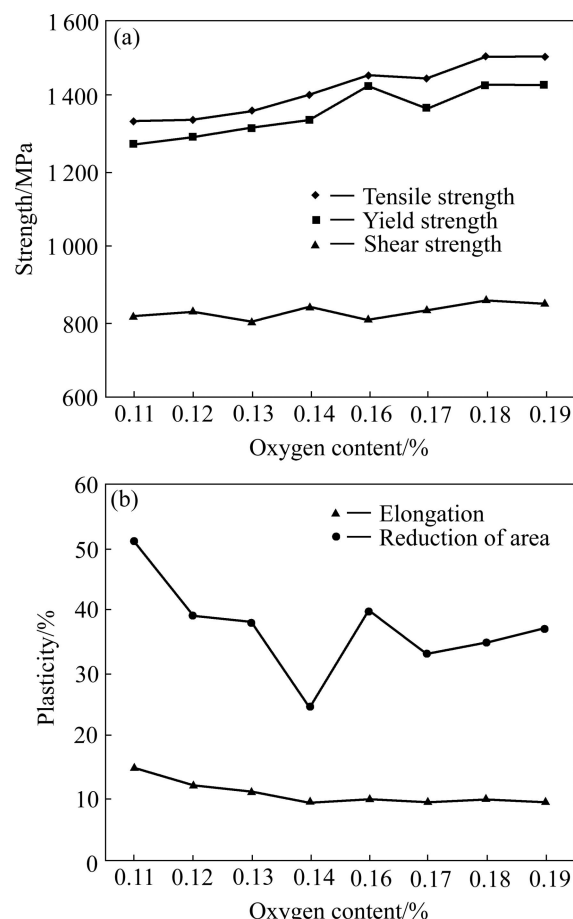


图 3 氧含量对合金固溶+时效态力学性能的影响

Fig. 3 Effect of oxygen content on alloy solution + aged mechanical properties: (a) Strength; (b) Plasticity

3 结论

- 1) 随着氧含量的增加, TB8 钛合金的相变点明显升高, 平均氧含量每增加 0.01%, 合金相变点升高 2 °C 左右。
- 2) 随着氧含量增加, TB8 钛合金固溶态及固溶+时效态拉伸强度和剪切强度明显增加, 拉伸塑性逐渐降低。
- 3) TB8 钛合金氧含量控制在 0.11%~0.13% 时, 合金在保持优异的塑性的同时获得 1 300 MPa 以上的高强拉伸性能。

REFERENCES

- [1] 吴清枝, 李佐臣, 王卫民. 氧对 Ti75 合金组织及性能的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 1995, 24(1): 29-32.
WU Qing-zhi, LI Zuo-chen, WANG Wei-min. Effect of oxygen

- content on microstructure and properties of Ti75 alloy[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 1995, 24(1): 29–32.
- [2] 刘伟, 杜宇, 于振涛. 间隙元素对一种近 α 钛合金力学性能的影响[J]. *稀有金属材料与工程*, 2005, 34(增刊 3): 303–306.
- LIU Wei, DU Yu, YU Zhen-tao, YANG Guan-jun. Influence of interstitial content on mechanical properties of a new type of near α titanium alloy at cryogenic temperature[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2005, 34(S3): 303–306.
- [3] 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.
- WANG Jin-you, GE Zhi-ming, ZHOU Yan-bang. Titanium alloy for aerospace[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1985.
- [4] GB/T 3620.1—2007. 钛及钛合金牌号和化学成分[S].
- GB/T 3620.1—2007. Designation and composition of titanium and titanium alloys[S].
- [5] 李献军. 真空自耗电弧炉熔炼技术和铸锭质量问题[J]. *钛工业进展*, 2001, 18(3): 16–22.
- LI Xian-jun. Vacuum arc furnace melting technology and ingot quality problems[J]. *Titanium Industry Progress*, 2001, 18(3): 16–22.
- [6] 张英明, 周廉, 孙军, 韩明臣, 倪沛彤, 陈杜鹃, 潘志强. 钛合金真空自耗电弧熔炼技术发展[J]. *稀有金属快报*, 2008, 27(5): 9–14.
- ZHANG Ying-ming, ZHOU Lian, SUN Jun, HAN Ming-chen, NI Pei-tong, CHEN Du-juan, PAN Zhi-qiang. Progress of vacuum arc remelting technology of titanium alloys[J]. *Rare Metals Letters*, 2008, 27(5): 9–14.
- [7] 安红, 刘俊玲, 范丽颖. 真空自耗电弧炉熔炼钛铸锭的质量控制[J]. *世界有色金属*, 2007, 8: 26–27.
- AN Hong, LIU Jun-ling, FAN Li-ying. Quality control in smelting titanium ingots in vacuum arc-melting furnace[J]. *World Nonferrous Metals*, 2007, 8: 26–27.
- [8] 何春艳, 叶红川, 曲恒磊, 邓超. 热处理制度对TB3钛合金组织及性能的影响[J]. *热加工工艺*, 2011, 40(20): 181–185.
- HE Chun-yan, YE Hong-chuan, QU Heng-lei, DENG Chao. Heat treatment on microstructures & mechanical properties of TB3 titanium alloy[J]. *Hot Process Technique*, 2011, 40(20): 181–185.
- [9] 钟鸣, 陈玉文, 朱知寿. 一种Ti-Mo-Nb-Al合金的固溶态显微组织研究[J]. *稀有金属材料与工程*, 2000, 29(2): 118–120.
- ZHONG Ming, CHEN Yu-wen, ZHU Zhi-shou. Microstructure of the alloy Ti-Mo-Nb-Al after solution treatment[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2000, 29(2): 118–120.
- [10] 王晶, 韩洪武, 阎彩文. 热处理对TB5板材组织和性能的影响[J]. *稀有金属材料与工程*, 2008, 37(增刊 3): 671–673.
- WANG Jing, HAN Hong-wu, YAN Cai-wen. Effects of heat treatment on microstructures and mechanical performances of TB5 titanium alloy sheet[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2008, 37(S3): 671–673.
- [11] 胡赓祥. 材料科学基础[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2000.
- HU Geng-xiang. Fundamentals of materials science[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2000.

(编辑 何运斌)