

TC18 钛合金室温拉伸性能与热处理制度的关系

贾百芳^{1,2}, 杨 义², 周 伟², 葛 鹏², 冯 亮², 杨冠军²

(1. 西安建筑科技大学 冶金工程学院, 西安 710055; 2. 西北有色金属研究院 钛合金研究所, 西安 710016)

摘 要:研究了 TC18 钛合金的室温拉伸性能与 $\alpha+\beta$ 相区固溶温度和时效温度的关系。结果表明:在时效前,随固溶温度的升高,合金的强度和塑性均下降;在同一时效温度处理后,随固溶温度的升高,合金的强度提高,塑性下降,同时时效强化效果提高;在同一固溶温度处理后,随时效温度的升高,合金的强度下降,塑性提高。合金性能的上述变化与热处理后组成相的参数差异有关。

关键词: TC18 钛合金; 固溶; 时效; 拉伸性能

中图分类号: TG115.5⁺2; TG146.2⁺3

文献标志码: A

Relationship between heat treatment process and room-temperature tensile properties of TC18 titanium alloy

JIA Bai-fang^{1,2}, YANG Yi², ZHOU Wei², GE Peng², FENG Liang², YANG Guan-jun²

(1. School of Metallurgical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. Titanium Alloy Research Center, Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

Abstract: The relationships between room-temperature tensile properties of TC18 titanium alloy and solution ($\alpha+\beta$ phase region) as well as aging temperatures were investigated. It is found that with the increase of the solution temperature, both the strength and plasticities decrease before aging treatment, the strengths increase and the plasticities decrease after aging at a same temperature, and the aging strengthening effect increases. After solution at a same temperature, with the increase of the aging temperature, the strengths decrease and the plasticities increase. The above changes of the properties result from the different parameters of phases after heat treatment.

Key words: TC18 titanium alloy; solution treatment; aging; tensile properties

BT22 钛合金是前苏联在 20 世纪 70 年代研制成功的一种高合金化、近 β 型钛合金,国内相应牌号为 TC18。该合金具有良好的强/塑性和强/韧性匹配,淬透性可达 250 mm。在前苏联和俄罗斯各型飞机机体和起落架的大型承力件上得到了广泛的应用^[1]。作为高合金化的两相合金,TC18 钛合金显微组织和力学性能对热处理工艺参数的变化很敏感^[2]。以前对 TC18 钛合金热处理制度的研究主要针对时效温度展开,获得了强度与时效温度关系的经验公式^[3]。本文作者通

过实验研究固溶和时效温度对 TC18 钛合金显微组织和室温拉伸性能的影响。

1 实验

按照 Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe(质量分数,%)的成分配料,真空自耗法 3 次熔炼,严格控制杂质元素(特别是 O、N 等的含量)。1 150 °C开坯,890 °C墩拔,然

后在 810 ℃锻造成 60 mm×100 mm 的方棒。在锻后的棒材上截取部分试样,用金相法测得 TC18 钛合金的相转变温度为(875±5) ℃。从同一支棒材上另取部分试样,按表 1 所示的热处理制度进行热处理。在不同热处理状态的样品上截取拉伸试样,在 DCS-25T 拉伸试验机上进行拉伸试验。从拉伸实验后的样品上切取金相样品,金相观察在 Olympus PMG3 光学显微镜上进行,采用 Kross 腐蚀液腐蚀。另外截取 0.8 mm 厚的透射样,用机械方法减薄至 0.03 mm,然后用 MTD-1A 磁力驱动双喷电解减薄器减薄,双喷液为 20%高氯酸+30%正丁醇+50%甲醇(体积分数),双喷时使用液氮冷

表 1 实验 TC18 合金的热处理制度

Solution treatment	Aging treatment
750, 780, 810, 840 ℃, 1.5 h, WQ	500, 550, 600 ℃, 5 h, AC

却双喷液,温度在-30 ℃左右,工作电压为 15~20 V。

2 结果与分析

2.1 拉伸性能与热处理温度的关系

图 1 所示为合金室温拉伸性能随固溶温度的变化曲线。由图 1 可见:在时效前,随着固溶温度的升高,合金的强度和断面收缩率呈下降趋势,抗拉强度由约 980 MPa 下降至约 900 MPa,断面收缩率由约 65%下降至约 35%;而合金的伸长率基本保持在 15%左右。在 500 ℃时效时,随着固溶温度的升高,合金的抗拉强度由约 1 370 MPa 提高至约 1 700 MPa,强度提高约 330 MPa,断面收缩率由约 50%降至约 3%,合金的伸长率也由约 10%下降至约 4%。550 ℃时效时,合金的抗拉强度由约 1 270 MPa 提高至约 1 450 MPa,强度提高约 180 MPa,断面收缩率由约 55%下降至约 20%,

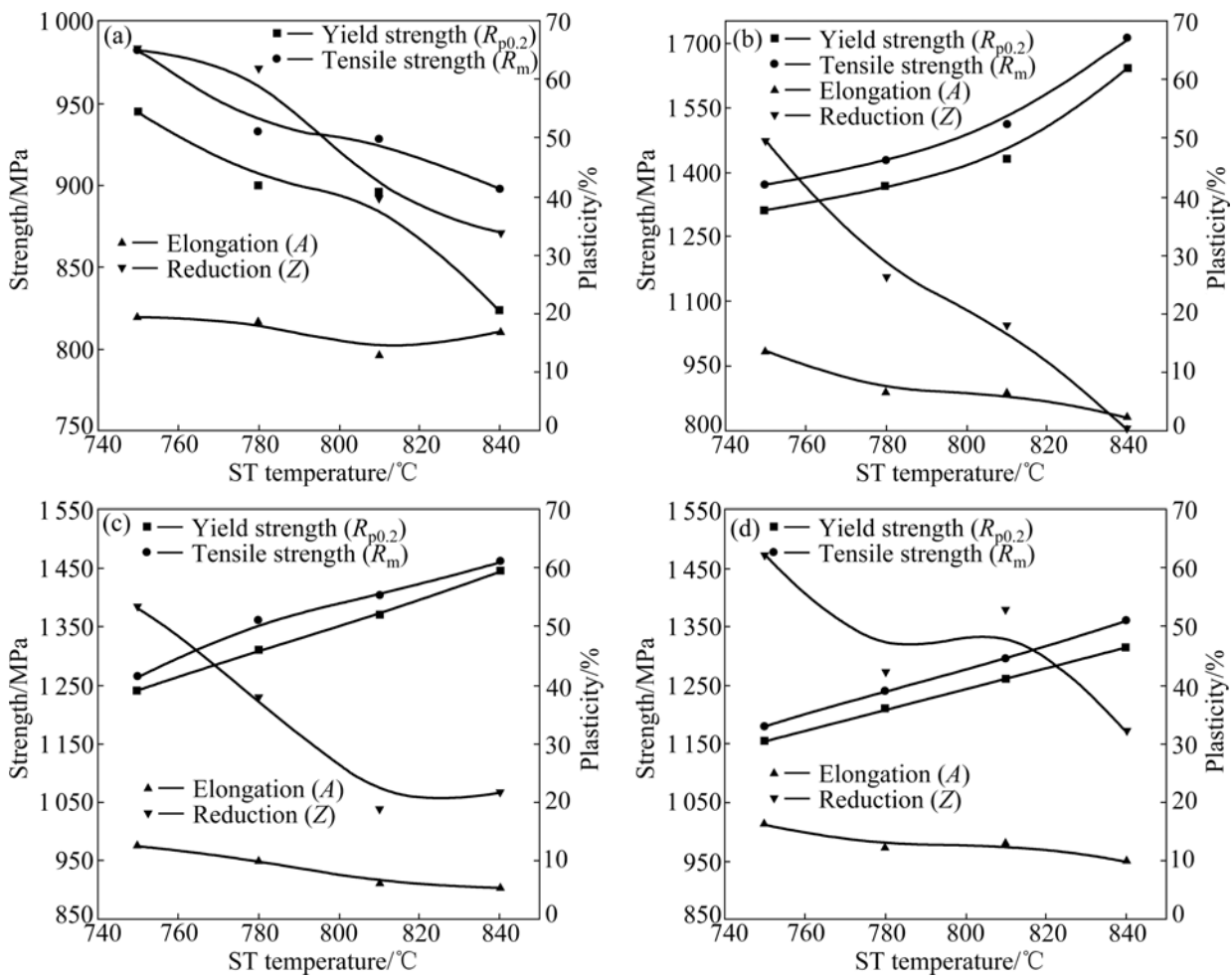


图 1 室温拉伸性能随固溶温度的变化曲线

Fig.1 Curves of room-temperature tensile properties at different solution temperatures: (a) Before aging; (b) 500 ℃, 5 h, AC; (c) 550 ℃, 5 h, AC; (d) 600 ℃, 5 h, AC

伸长率由约 10%下降至约 5%。600 °C时效时,合金的抗拉强度由约 1 170 MPa 提高至约 1 350 MPa,断面收缩率由约 60%下降至约 37%,伸长率由约 13%下降至约 10%。

图 2 所示为室温拉伸性能随时效温度的变化曲线。由图 2 可知:TC18 钛合金的强度与时效前相比均有很程度的提高,塑性则下降很大。在 750 °C固溶、500 °C时效时,合金的抗拉强度较时效前相比提高约 350 MPa,断面收缩率下降约 10%,而伸长率下降约 5%,随着时效温度的升高,合金的强度下降约 200 MPa,断面收缩率提高约 10%,伸长率在 13%左右。固溶时效后的强度都在 1 200 至 1 450 MPa 之间波动,伸长率也相应地在 5%至 17%之间波动。

2.2 热处理制度对显微组织和力学性能的影响

不同的固溶及时效温度对 TC18 钛合金室温力学性能的影响是通过调整其显微组织而实现的,所以,研究其不同热处理制度时的显微组织显得尤为重要。

图 3 所示为时效前在不同固溶温度下处理的合金的金相组织。可见,随着固溶温度的升高,合金中初生 α 相的含量减少(见图 3、图 4)。图 5 所示为 Ti-Al 二元平衡相图(假定合金在成分范围中两相区和单相区的边界为直线),根据杠杆定律,随着固溶温度的升高,合金的相组成将发生变化,初生 α 相的含量减少, β 相的含量增多,造成 α 与 β 两相相界面减少,第二相强化效果减弱。所以,在时效前,随着固溶温度的升高,合金的强度降低。

图 6 所示为在 500 °C时效条件下,不同固溶温度的次生 α 相的 TEM 暗场像。由图 5 可知:随着固溶温度的升高,合金中初生 α 相的含量减少, β 相的含量增多,由于合金中 β 稳定元素的含量一定,所以 β 相含量的增多将导致 β 相中 β 稳定元素含量的减少,在时效条件下, β 相的稳定性将减弱,亚稳定 β 相将越容易分解,时效强化效果将增强。由图 6 可看出:随着固溶温度的升高,在 β 转变基体中析出的次生 α 相的弥散程度增大,所以,合金的强度较时效前有很

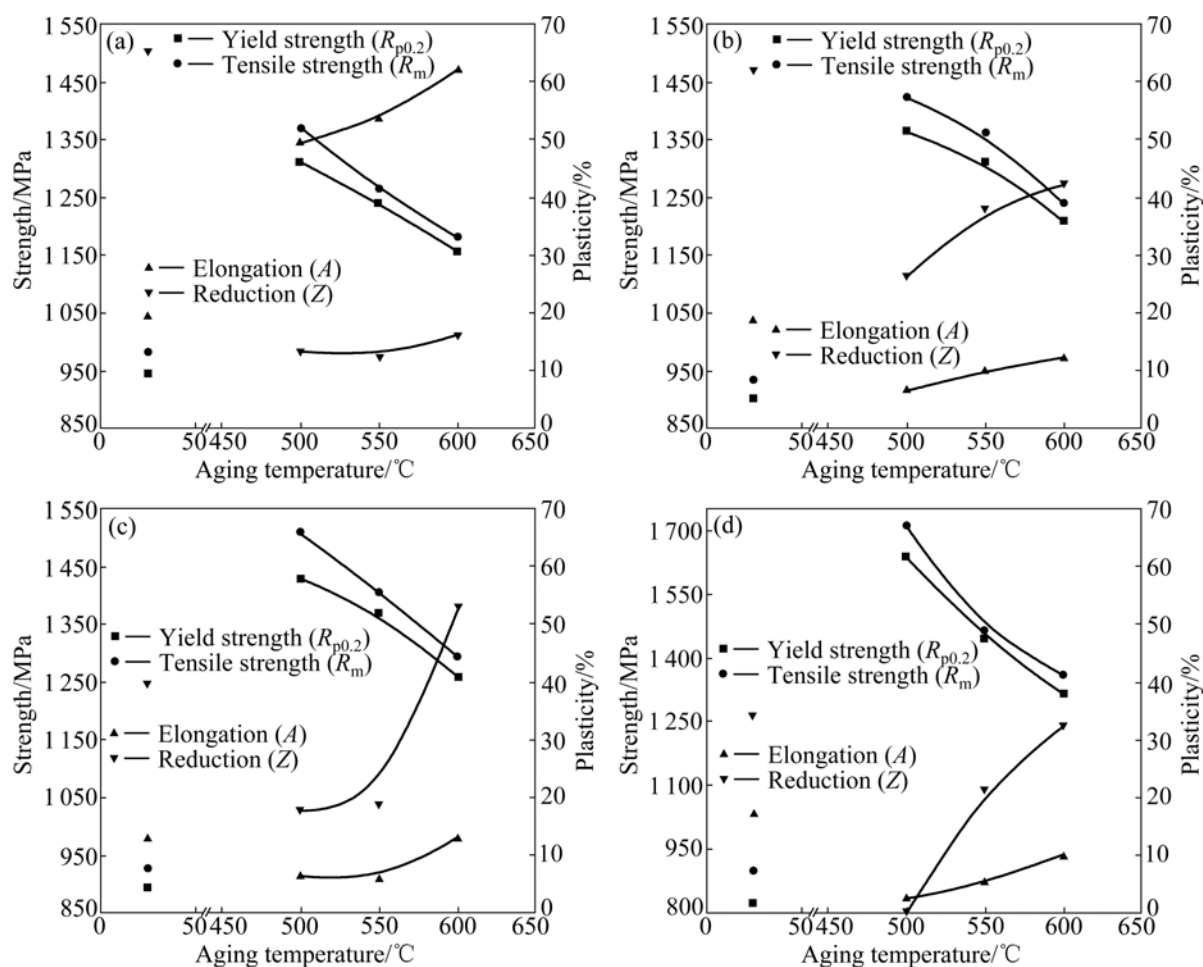


图 2 室温拉伸性能随时效温度的变化曲线(25 °C为时效前的值)

Fig.2 Curves of room-temperature tensile properties at different aging temperatures (Values of 25 °C correspond to alloys before aging): (a) 750 °C, 1.5 h, WQ; (b) 780 °C, 1.5 h, WQ; (c) 810 °C, 1.5 h, WQ; (d) 840 °C, 1.5 h, WQ

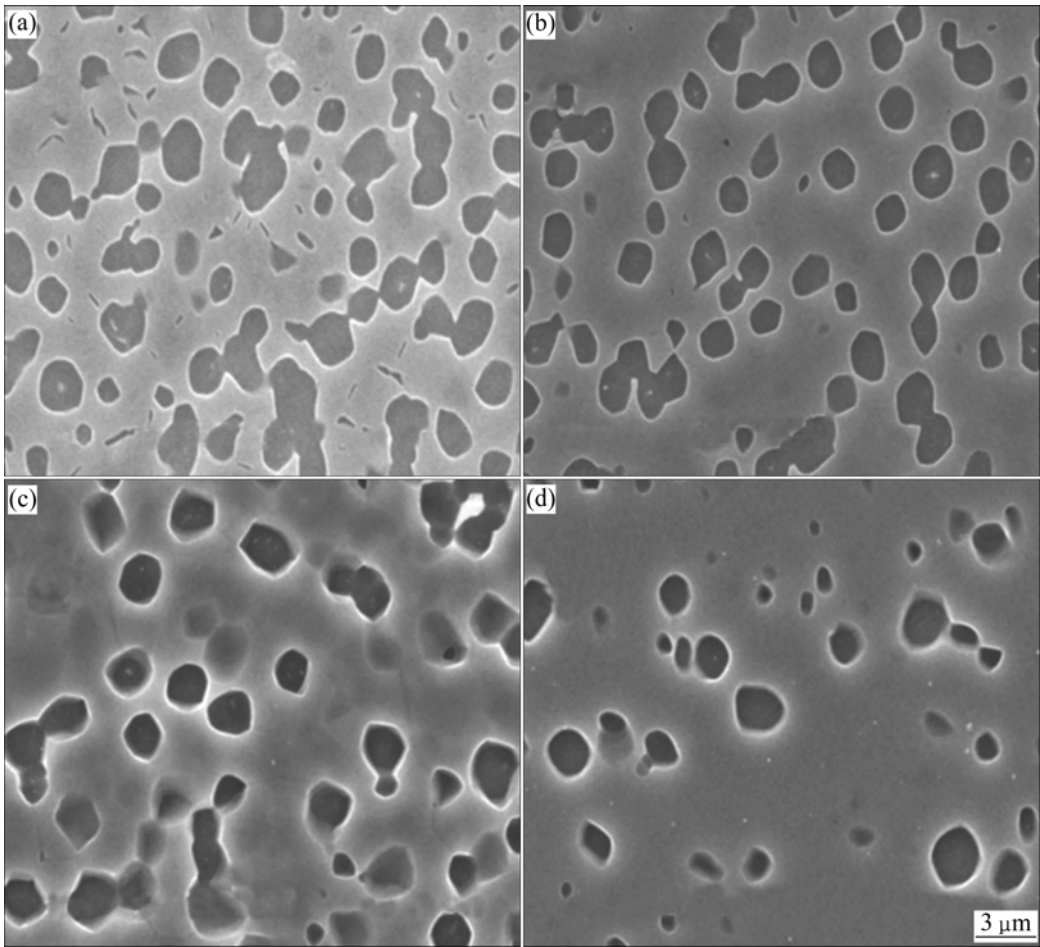


图 3 不同固溶温度合金的 SEM 像

Fig.3 SEM images of TC18 alloy at different solution temperatures before aging: (a) 750 °C, 1.5 h, WQ; (b) 780 °C, 1.5 h, WQ; (c) 810 °C, 1.5 h, WQ; (d) 840 °C, 1.5 h, WQ

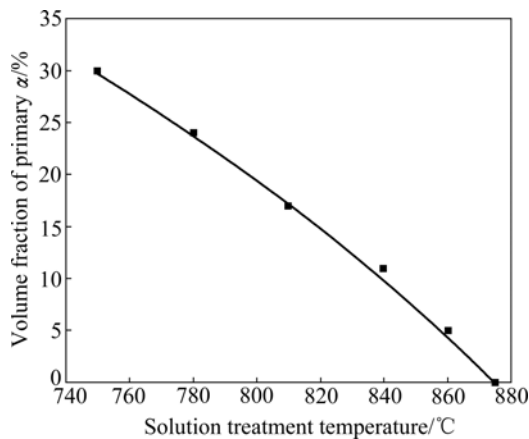


图 4 固溶温度对初生 α 相体积分数的影响

Fig.4 Effect of solution temperature on volume fraction of primary α phase

大程度的提高，并且随着固溶温度的升高，合金的强度提高，而塑性下降。

图 7 所示为在 780 °C 固溶时，不同时效温度的次

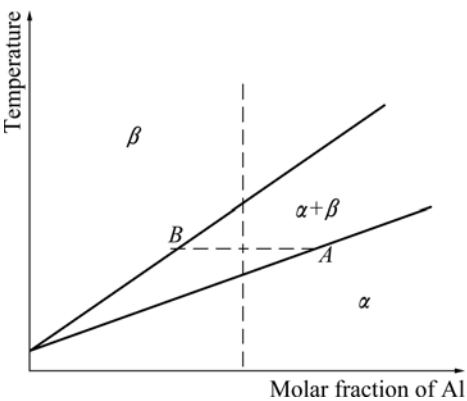


图 5 Ti-Al 二元平衡相图及杠杆定律示意图

Fig.5 Phase diagram of Ti-Al binary system and sketch map of lever law

生 α 相 TEM 暗场像。由图 7 可知：经 500 °C 时效后，从基体中析出细小弥散分布的次生 α 相，因此，弥散强化效果好，而随着时效温度的升高，次生 α 相开始长大，经 600 °C 时效后，次生 α 相长成长条状，弥散

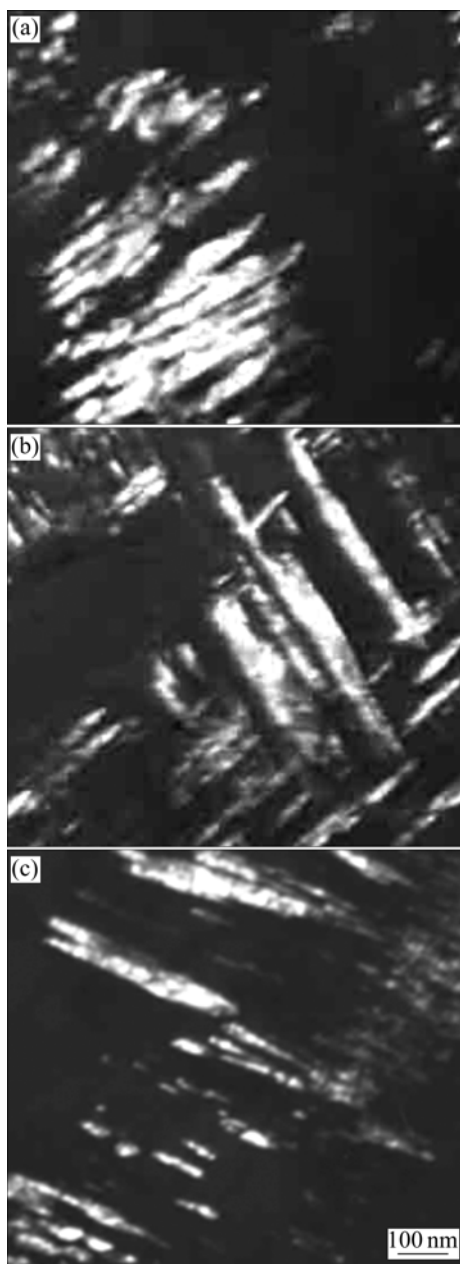


图 6 不同固溶温度的次生 α 相 TEM 暗场像

Fig.6 Dark field images of secondary α at different solution temperatures: (a) (750 °C, 1.5 h, WQ)+(500 °C, 5 h, AC); (b) (780 °C, 1.5h, WQ)+(500 °C, 5 h, AC); (c) (810 °C, 1.5 h, WQ)+(500 °C, 5 h, AC)

强化效果降低。由此可见, 适当的时效温度能控制次生 α 相的尺寸, 从而获得符合要求的性能。

由以上分析可知, 在时效前, 固溶温度通过影响初生 α 相及 β 相的含量进而影响合金的强度。在时效处理条件下, 固溶温度通过影响淬火 β 相中合金元素的含量影响次生 α 相的形态和分布进而影响合金的强度。

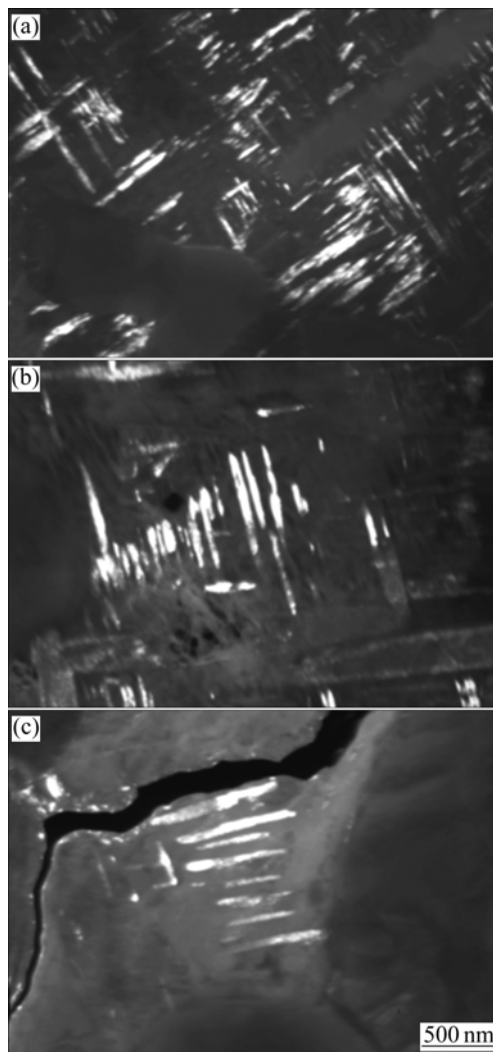


图 7 不同时效温度的次生 α 相 TEM 暗场像

Fig.7 Dark field images of secondary α at different aging temperatures: (a) (780 °C, 1.5 h, WQ)+(500 °C, 5 h, AC); (b) (780 °C, 1.5 h, WQ)+(550 °C, 5 h, AC); (c) (780 °C, 1.5 h, WQ)+(600 °C, 5 h, AC)

3 结论

1) 在时效前, 随着固溶温度的升高, 合金的强度和塑性均下降。在同一时效温度处理后, 随着固溶温度的升高, 合金的强度升高, 塑性下降。在同一固溶温度处理后, 随时效温度的升高, 合金的强度下降, 塑性提高。

2) 在时效前, 固溶温度通过影响初生 α 相的含量进而影响合金的强度, 在时效处理条件下, 固溶温度通过影响淬火 β 相中合金元素的含量影响次生 α 相的形态和分布进而影响合金的强度。

REFERENCES

- [1] 于兰兰, 毛小南, 张鹏省, 赵永庆, 袁少冲. 热处理工艺对 BT22 钛合金组织和性能的影响[J]. 稀有金属快报, 2005, 24(3): 21-23.
YU Lan-lan, MAO Xiao-nan, ZHANG Peng-sheng, ZHAO Yong-qing, YUAN Shao-chong. Effect of heat treatment on structure and property of TC18 titanium alloy [J]. Rare Metal Letters, 2005, 24(3): 21-23.
- [2] 沙爱学, 李兴元, 王庆如. 固溶制度对 TC18 钛合金拉伸性能和显微组织的影响[C]//第十二届中国有色金属学会材料科学与合金加工学术研讨会文集, 2007: 440-444.
SHA Ai-xue, LI Xing-yuan, WANG Qing-ru. Effect of solution treatment on tensile property and microstructure of TC18 titanium alloy [C]// The Twelfth Chinese Nonferrous Metals Academy Proseminar Corpus of Material Science and Alloy Process. 2007: 440-444.
- [3] 沙爱学, 李兴元. 热处理工艺参数对 TC18 钛合金显微组织和力学性能的影响[J]. 材料工程, 2002, 208(增刊): 23-26.
SHA Ai-xue, LI Xing-yuan. Effect of heat treatment parameter on microstructure and property of TC18 titanium alloy [J]. Journal of Materials Engineering, 2002, 28(S): 23-26.

(编辑 杨 兵)