

热处理对 Ti_3Al 基合金板材拉伸性能与微观组织的影响

曹京霞¹, 何书林², 石卫民², 王宏武², 王 新²

(1. 北京航空材料研究院, 北京 100095;

2. 宝鸡钛业股份有限公司, 宝鸡 721014)

摘 要: 研究固溶温度、时效温度以及多重时效处理对 Ti-24Al-15Nb-1Mo 合金热轧板材拉伸性能的影响, 对不同热处理工艺下板材的微观组织和拉伸断口形貌进行观察。结果表明: 当固溶处理温度从 990 °C 升高到 1 010 °C 时, Ti-24Al-15Nb-1Mo 合金热轧板材的室、高温强度均有所提高, 塑性略有降低; 当时效温度从 815 °C 升高到 850 °C 时, 板材的室温和高温强度降低, 塑性变化不明显; Ti-24Al-15Nb-1Mo 合金热轧板材经 990 °C 固溶处理后再进行多次时效处理, 其拉伸性能变化不明显; 增加时效次数, 拉伸强度略微降低。

关键词: Ti_3Al 基合金; 板材; 拉伸性能; 微观组织

中图分类号: TG113.1; TG113.25; TG146.2+3

文献标志码: A

Effect of heat treatment on tensile properties and microstructures of Ti_3Al based alloy sheet

CAO Jing-xia¹, HE Shu-lin², SHI Wei-min², WANG Hong-wu², WANG Xin²

(1. Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China;

2. Baoji Titanium Industry Co., Ltd., Baoji 721014, China)

Abstract: The effects of solution treatment temperature, aging treatment temperature, multiple aging treatments on the tensile properties of Ti-24Al-15Nb-1Mo alloy hot-rolled sheet were studied. The microstructure and tensile fracture morphologies with different heat treatment conditions were observed by SEM. The results show that the tensile strength of Ti-24Al-15Nb-1Mo alloy hot-rolled sheet is improved, but the tensile ductility decreases slightly both at room and elevate temperature with the increase of solution temperature from 990 °C to 1 010 °C. The tensile strength decreases with aging temperature increasing from 815 °C to 850 °C, but the tensile ductility does not change obviously. No significant differences of tensile properties are observed after solution treatment and multiple aging treatments. Additional aging treatments results in slightly decrease of tensile strength.

Key words: Ti_3Al -based alloys; sheet; tensile property; microstructure

中等 Nb 含量的 Ti_3Al 基合金及高 Nb 含量的 Ti_2AlNb 基合金具有密度低、比强度高的特性, 与高温钛合金相比其使用温度提高 50~150 °C 以上。随着 Ti_3Al 基合金及 Ti_2AlNb 基合金的室温塑性和韧性的改善以及热加工技术的突破, 使这些材料在航空航天等领域的高温结构件上的应用成为可能^[1-5]。近年来, 随着高性能飞行器的研发, 对轻质耐高温的 Ti-Al 系合金板材及锻件的需求日益迫切, 特别是由于 Ti_3Al 基

合金具有良好的热工艺性能, 其板材和锻件的制备及其组织性能控制都受到关注^[6-9]。本文作者主要研究一种中等 Nb 含量的 Ti_3Al 基合金热轧板材经不同温度固溶和时效处理后的组织和拉伸性能, 以及多重时效对这种合金板材拉伸性能的影响, 以期了解中等 Nb 含量 Ti_3Al 基合金板材的拉伸性能对固溶温度和时效温度变化的敏感程度, 以便于实际应用中板材的组织性能进行控制。

1 实验

试验用 Ti₃Al 基合金的名义成分为 Ti-24Al-15Nb-1Mo(摩尔分数, %), 合金简称为 TD3 合金。TD3 合金铸锭采用真空自耗的工艺熔炼, 成品铸锭尺寸为直径为 600 mm, TD3 合金铸锭经β单相区开坯锻造后, 制成板坯。板坯经(α₂+B₂)两相区多火次轧制, 轧制成 7 mm 和 1.9 mm 厚的热轧板材。

对 7 mm 板材进行不同固溶温度和时效温度的热处理试验, 固溶温度选择 990 和 1 010 , 时效温度选择为 815 和 850 。热处理后沿板材的轧向取样, 并加工标距为 d 3 mm×15 mm 的圆棒拉伸试样; 对 1.9 mm 板进行 990 固溶处理, 然后对不同试样毛坯进行 815 时效处理, 时效保温时间为 30 min, 时效次数为 1~4 次, 均为空冷。热处理后, 沿板材轧向取样加工成标距长为 10 mm 的片形拉伸试样。所有试样均测试室温及高温拉伸性能。板材的显微组织和部分拉伸断口形貌采用 JSM 5600 和 Philips Quanta 600 扫描电镜上进行观察。

2 结果与分析

2.1 固溶处理和时效处理对 TD3 合金板材拉伸性能的影响

表 1 所列 7 mm 厚的 TD3 合金板材经不同温度固溶和时效处理后的拉伸性能。由表 1 可以看到, 固溶处理温度从 990 升高到 1 010 后, 板材的室、高温强度均有所提高, 塑性略有降低; 提高时效温度从 815 到 850 , 板材的室温和高温强度均有所降低, 塑性变化不明显, 面缩率(ψ)略有提高。

2.2 多次时效对 TD3 合金板材拉伸性能的影响

1.9 mm 厚板材经固溶处理及不同次数 815 时效处理后的拉伸强度和塑性分别如图 1 和 2 所示。由图 1 和 2 可知, 单次时效的拉伸试样强度最高, 室温下的拉伸强度为 1 165 MPa , 750 时的拉伸强度能够达到 630 MPa ; 随时效次数增加, 室温和高温强度都略有降低。不同时效次数对塑性有一定的影响, 室温时, 随时效次数的增加, 塑性提高, 高温下未呈现一致的变化规律, 总体可以认为, 在 815 多次时效对板材的拉伸性能影响不大。

表 1 7 mm 厚 TD3 合金板材经固溶时效处理后的拉伸性能

Table 1 Tensile properties of TD3 sheet with thickness of 7 mm sheet after solution and aging treatment

Heat treatment	Testing temperature/	σ _b /MPa	σ _{0.2} /MPa	δ ₅ /%	ψ/%
Solution treated at 990 , aged at 815	20	1137	896	12.8	9.4
	650	751	554	16.0	20.7
	700	669	492	20.3	35.0
	750	576	422	48.5	64.2
	800	446	303	53.0	95.0
Solution treated at 990 , aged at 850	20	1070	839	10.8	9.1
	650	705	500	19.0	29.3
	700	627	462	30.3	38.0
	750	545	394	46.4	69.0
	800	432	291	46.9	70.2
Solution treated at 1 010 , aged at 850	20	1169	929	10.5	9.1
	650	786	570	16.7	25.9
	700	712	518	25.4	28.7
	750	601	433	33.5	83.3
	800	479	314	48.3	78.0

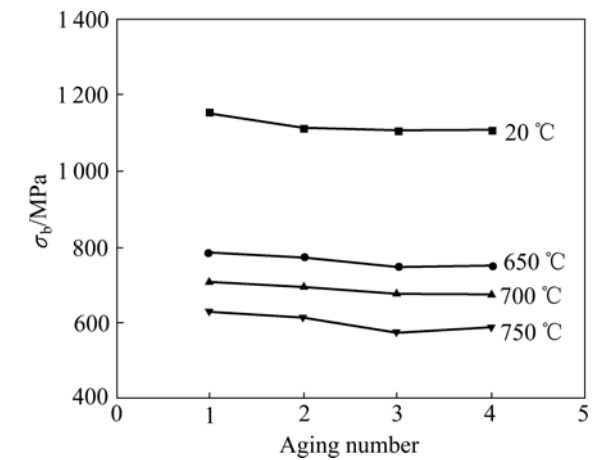


图 1 不同温度时多次时效对 TD3 合金板材拉伸强度的影响

Fig.1 Effect of multiple aging treatment on tensile strength of TD3 alloy sheet at different temperatures

2.3 TD3 合金板材的微观组织

图 3 所示为不同固溶温度和时效温度处理后 7 mm 厚 TD3 合金板材的微观组织。由图 3 可看出, 固溶时效处理的板材组织呈现多个层次, 较为粗大的拉长或等轴的初生α₂相是锻造和轧制过程中保留下来的。由于固溶温度与轧制温度接近, 在固溶处理时, 初生α₂相的体积分数基本保持轧态下的数量, 在后续的时效处理中, 初生α₂相也具有高度的稳定性; 基体中较为显著的小等轴相是轧制过程中产生的细小α₂

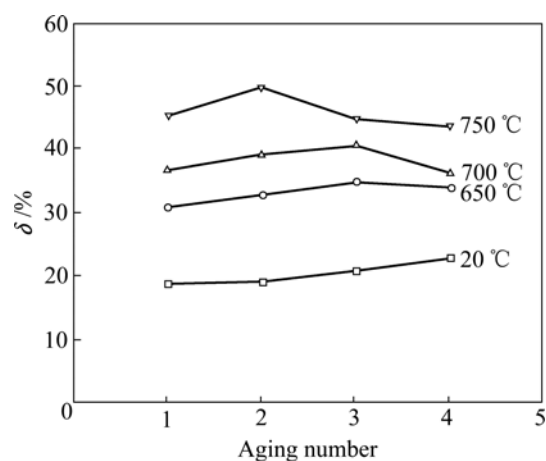


图 2 不同温度时多次时效对 TD3 合金板材拉伸塑性的影响

Fig.2 Effect of multiple aging treatment on tensile ductility of TD3 alloy sheet at different temperatures

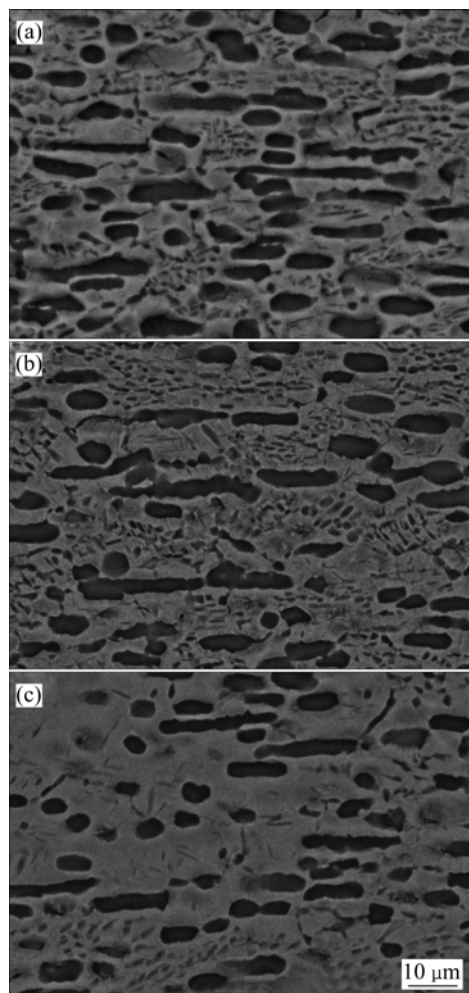


图 3 固溶和时效处理后 TD3 合金板材的微观组织

Fig.3 Microstructures of TD3 alloy sheet after solution and aging treatment: (a) Solution treatment at 990 °C +aging treatment at 815 °C; (b) Solution treatment at 990 °C +aging treatment at 850 °C; (c) Solution treatment at 1010 °C +aging treatment 815 °C

相和 O 相的混合相。在固溶处理时,一部分已经固溶,当时效温度从 815 °C 升高到 850 °C,这部分细小的混合相出现一定程度的粗化,导致拉伸强度的略微降低和塑性的提高;第三个层次是基体组织,时效过程中析出二次的 α_2 相和 O 相,随着时效温度的提高,二次相将进一步粗化。而固溶温度升高到 1010 °C 后,并未显著地造成拉长或等轴初生 α_2 相的减少,但使轧制过程中产生的细小初生 α_2 相和初生 O 相较多地固溶到基体中,从而使强度提高。

图 4 所示为 1.9 mm 厚板材固溶时效后的微观组织。由图 4 可看出,815 °C 时的时效次数增加仅引起基体组织中次生 α_2 相和 O 相的略微粗化,从而使拉伸强度略微降低。多次时效后的室温拉伸断口如图 5 所示。由图 5 可知,断口的形貌相近,断裂起源于试样的近表面,裂纹快速扩展的放射区明显,断口边缘有明显、但不完整的剪切唇,表明 TD3 合金板材具备较好的室温塑性。断口呈现准解理特征,扩展区域组织特征模糊;快断区可观察到较多的韧窝。

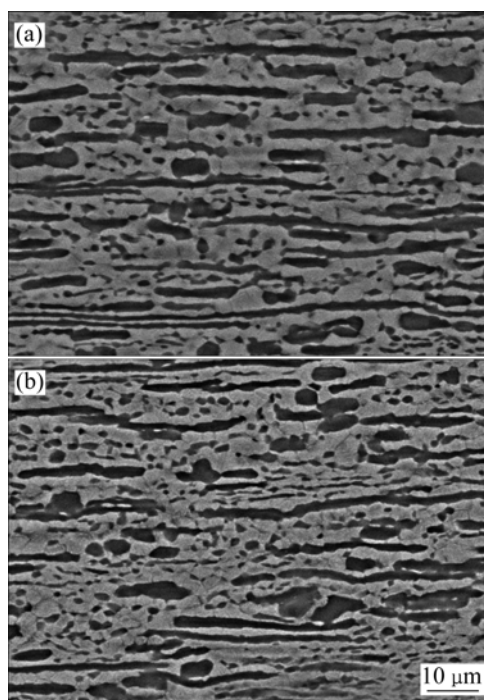


图 4 多次时效处理后的 TD3 合金热轧板材的微观组织

Fig.4 Microstructures of TD3 alloy hot-rolled sheet after multiple aging treatment: (a) 815 °C, 1st; (b) 815 °C, 4th

3 结论

1) 当固溶处理温度从 990 °C 升高到 1010 °C 时, Ti-24Al-15Nb-1Mo 合金热轧板材的室、高温强度均有

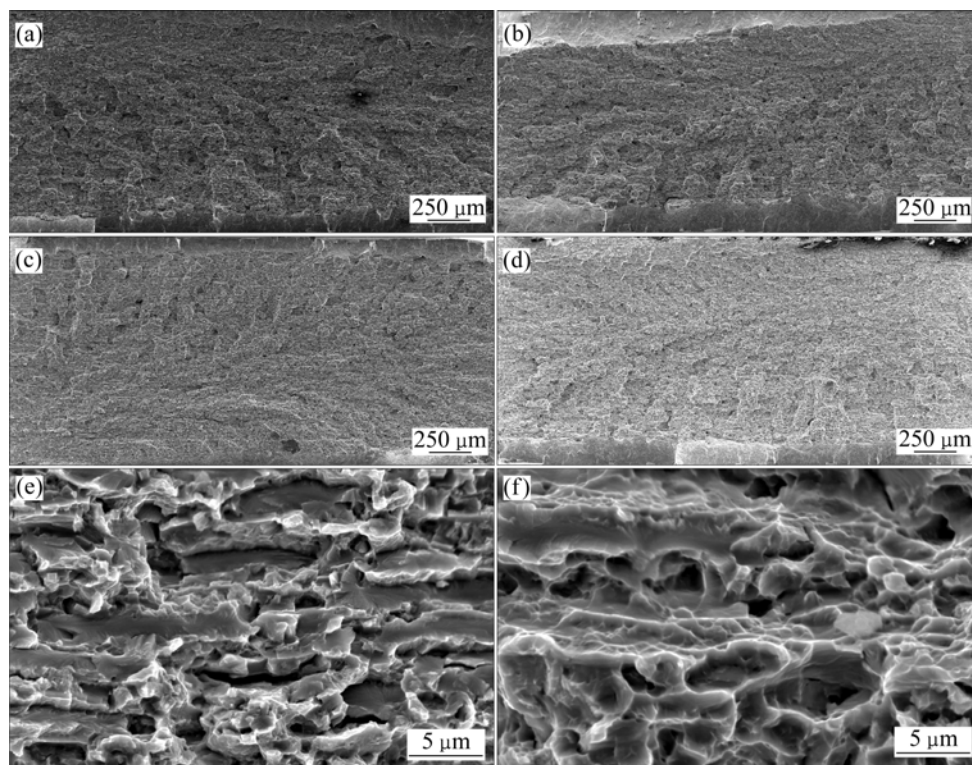


图 5 TD3 合金热轧板材多次时效后试样的拉伸断口形貌

Fig.5 Tensile fracture morphologies of TD3 alloy hot-rolled sheet after multiple aging treatment: (a) 1st aging; (b) 2nd aging; (c) 3rd aging; (d) 4th aging; (e) Fracture initial area; (f) Final area

所提高，塑性略有降低；当时效温度从 815 升高到 850 时，板材的室温和高温强度降低，塑性变化不明显。

2) Ti-24Al-15Nb-1Mo 合金热轧板材经 990 固溶处理后再进行多次时效处理，其拉伸性能变化大；增加时效次数，拉伸强度略微降低。

REFERENCES

- [1] BANERJEE D, GOGIA A K, NANDY T K. A new phase in Ti_3Al based alloy with high content of niobium[J]. *Acta Metall Mater*, 1988, 36: 871–882.
- [2] WU Y T, YANG C T, KOO C H, SINGH A K. A study of texture and temperature dependence of mechanical properties in hot rolled Ti-25Al-xNb alloys[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2003, 80: 339–347.
- [3] SUWAS S, RAY R K. Stability of rolling texture during heat treatment in a two-phase Ti_3Al base intermetallic alloy[J]. *Acta Materialia*, 1999, 47(18): 4599–4614.
- [4] BANERJEE D, BALIGIDAD R G, GOGIA A K. Engineering multiphase intermetallics[C]//HEMKER K J, DIMIDUK D M, et al. Third International Symposium on Structural Intermetallics, Warrendale, PA, USA, 2001: 43–47.
- [5] WILLIAMS J C, STARKE E A. Progress in structural materials for aerospace systems[J]. *Acta Materialia*, 2003, 51: 5775–5799.
- [6] ROWE R G. Tri-titanium aluminide alloys containing at least eighteen atom percent niobium: US 5032357[P]. 1991.
- [7] 张建伟, 程云君, 梁晓波, 李世琼. (α_2 +B2+O)三相区温度变形的 Ti_3Al 基合金板材组织和性能[J]. *稀有金属材料与工程*, 2008(Supple 3): 561–564.
- [8] 曹京霞, 孙育峰, 曹春晓, 全旭. $\text{Ti}_3\text{Al-Nb-Mo-(Si)}$ 合金的显微组织与力学性能[J]. *稀有金属*, 1997, 21(1): 490–493.
- [9] CAO Jing-xia, SUN Yu-feng, CAO Chun-xiao, QUAN Xu. The microstructure and properties of $\text{Ti}_3\text{Al-Nb-Mo-(Si)}$ alloys[J]. *Chinese Journal of Rare Metals*, 1997, 21(1): 490–493.
- [10] CAO Jing-xia, BAI Fang, LI Zhen-xi. High temperature low cycle fatigue behavior of titanium aluminide Ti-24Al-15Nb-1Mo alloy[J]. *Materials Science and Engineering A*, 2006, 424: 47–49.

(编辑 龙怀中)