

热处理制度对 TC18A 钛合金丝材组织和性能的影响

王清瑞, 沙爱学, 黄 旭, 刘 宇

(北京航空材料研究院 钛合金研究室, 北京 100095)

摘 要: 采用不同的热处理制度研究了退火和固溶时效温度对 TC18 改进型合金 TC18A $d16.5$ mm 丝材组织和性能的影响。结果表明: 在 720~780 , 随着丝材退火温度的升高, 强度降低, 塑性变化不大; 但当温度超过 780 时, 退火温度对丝材拉伸性能影响不明显; 当时效温度一定时, 随着固溶温度的升高, 丝材强度增加, 塑性降低; 固溶温度不变时, 强度随时效温度的升高而降低, 塑性增加。

关键词: TC18 钛合金; 退火; 固溶时效; 丝材

中图分类号: TG 146.2

文献标志码: A

Influence of heat treatment process on microstructure and mechanical property of TC18A alloy wire

WANG Qing-rui, SHA Ai-xue, HUANG Xu, LIU Yu

(Titanium Alloy Research Group, Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

Abstract: The influence of annealing and solution+aging temperatures on microstructure and mechanical property was studied. The results show that between 720 and 780 , with increase in annealing temperature, strength of wire decreases, while plasticity has no obvious change. But above 780 , the influence of annealing temperature on tensile property is not obvious. When aging temperature keeps constant, strength increases and plasticity decreases with increase in solution temperature. When solution temperature keeps constant, strength decreases and plasticity increases with increase in aging temperature.

Key words: TC18 alloy; annealing; solution and aging; wire

钛合金由于具有较高的强度、优异的耐腐蚀性和良好的减重效果, 越来越多地应用在航空航天等武器装备, 是各种型号飞机必选材料之一。近年来, 钛合金在紧固件领域的应用也已经成为各国研究的重点, 国外已经将其代替钢成功用于紧固件制造。目前, 国内外用量最大、最广泛的是 TC4 钛合金紧固件。然而, TC4 为中等强度的 $\alpha+\beta$ 两相型钛合金, 随着波音 787、空客 A380 等大型飞机的成功研发和运营, 高承载能力的钛合金紧固件越来越受到重视, 用量也越来越大。TC18(Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe)是一种具有高强、高韧和高淬透性能的新型钛合金, 是大型飞机承力构件的首选选料^[1]。同时, TC18 也是高强度紧固件选择的理

想材料。目前, 欧美许多国家都开始对 TC18 钛合金的成分设计和性能水平展开研究^[2-6]。本文作者针对直径为 16.5 mm 的 TC18 改进型钛合金 TC18A 丝材进行不同热处理, 对组织与性能进行研究, 得到退火温度和固溶时效温度对其组织性能的影响规律, 为 TC18A 钛合金丝材选择合理的热处理制度提供科学理论依据。

1 实验

分别研究了退火温度和固溶时效温度对 TC18A 钛合金丝材组织和性能的影响, 每种热处理制度选用

3 个试样, 具体实验方案如表 1 和表 2 所示。

表 1 退火热处理制度实验方案

Table 1 Test scheme of annealing heat treatment

Test scheme No.	Annealing procedure	Sample No.
1	720 , 2 h, furnace cooling to 400 , AC	A1-A3
2	740 , 2 h, furnace cooling to 400 , AC	A4-A6
3	760 , 2 h, furnace cooling to 400 , AC	A7-A9
4	780 , 2 h, furnace cooling to 400 , AC	A10-A12
5	800 , 2 h, furnace cooling to 400 , AC	A13-A15

表 2 固溶时效热处理制度实验方案

Table 2 Test scheme of solution and aging heat treatment

Test scheme No.	Solution and aging heat treatment	Sample No.
6	(720 , 2 h, WQ)+(550 , 6 h, AC)	A16-A18
7	(720 , 2 h, WQ)+(500 , 6 h, AC)	A19-A21
8	(755 , 2 h, WQ)+(550 , 6 h, AC)	A22-A24
9	(755 , 2 h, WQ)+(500 , 6 h, AC)	A25-A27
10	(780 , 2 h, WQ)+(550 , 6 h, AC)	A28-A30
11	(780 , 2 h, WQ)+(550 , 6 h, AC)	A31-A33
12	(800 , 2 h, WQ)+(550 , 6 h, AC)	A34-A36
13	(800 , 2 h, WQ)+(500 , 6 h, AC)	A37-A39

2 结果与讨论

2.1 拉伸性能测试结果

为了避免个别试样试验数据的偶然性, 将每种热

处理制度下的 3 个试样试验数据求取平均值进行比较, 5 种退火制度所得到的丝材拉伸性能如图 1 所示。8 种固溶时效热处理制度所得丝材拉伸性能平均值如表 3 所示。

由图 1 可以看到: 当退火温度从 720 每间隔 20

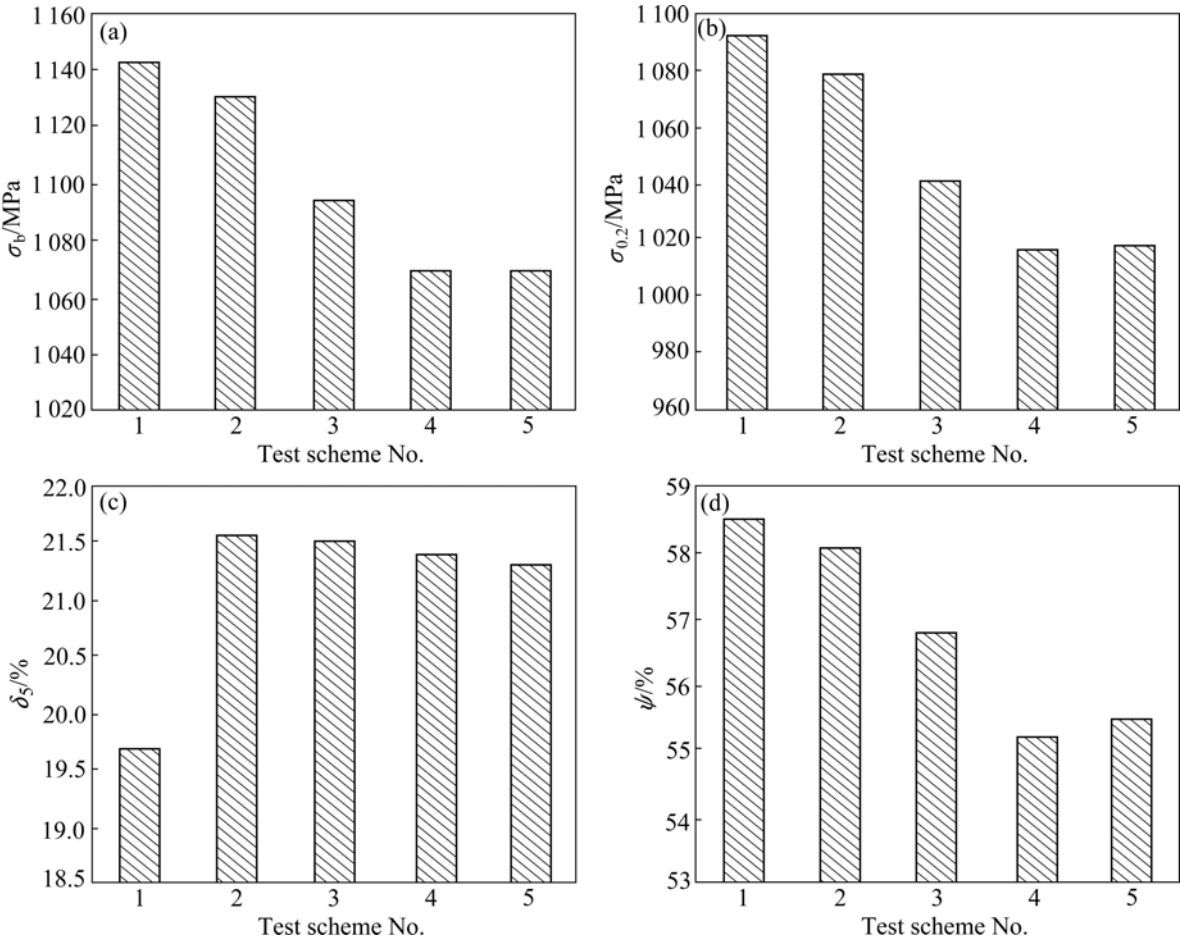


图 1 5 种退火制度丝材的拉伸性能

Fig.1 Tensile properties of TC18A alloy wires with different annealing temperatures: (a) Tensile strength; (b) Yield; (c) Elongation; (d) Contraction of cross sectional area

表 3 不同固溶时效热处理制度下丝材的拉伸性能

Table 3 Tensile properties of TC18 alloy wires with different solution and aging temperatures

Test scheme No.	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ψ /%
6	1210	1184	17.6	58.0
7	1308	1261	16.1	55.3
8	1259	1259	16.4	54.0
9	1393	1335	14.5	52.1
10	1356	1308	15.1	47.4
11	1485	1393	10.4	34.3
12	1411	1363	13.1	45.8
13	1537	1447	10.4	25.1

增加到 780 ℃ 时,丝材的平均抗拉强度从 1 130 MPa 依次降到 1 070 MPa,屈服强度也显示递减的趋势,塑性变化不大;当温度从 780 ℃ 继续增加到 800 ℃ 时,丝材的强度和塑性变化均不明显。

在表 3 中,从试验方案 6、8、10、12(时效温度为 550 ℃)和试验方案 7、9、11、13(时效温度为 500 ℃)可以看到:只要时效温度相同,丝材强度随着固溶温度的升高而增加,伸长率和断面收缩率随着固溶温度的增加而降低;同时,在同一固溶温度下,从 720 ℃ 时的 6 和 7 方案、755 ℃ 时的 8 和 9 方案、780 ℃ 时的 10 和 11 方案以及 800 ℃ 时的 12 和 13 方案可以看到:丝材的强度随着时效温度的升高而降低,塑性则呈相反趋势。

2.2 显微组织

从试验方案 1、3、5 每种退火制度中取 1 个拉伸试样切取螺纹头部制取试样得到的显微组织如图 2 所示。选取方案 6 和方案 10 观察时效温度相同时固溶温度对 TC18A 钛合金丝材的显微组织的影响,如图 3 所示。从图 2 可以看到:随着退火温度的升高,部分初生 α 相和次生 α 相逐渐熔解, α 相的含量越来越少,合金强度表现出降低趋势。

由图 3 可以看到:时效温度相同时两种固溶温度所得丝材显微组织均为近球状形的初生 α 相分布在 β 基体内。当采用电子显微镜观察时,可以看到试样 A28 的显微组织中,分布着更多的次生 α 相。随着固溶温度的升高,初生 α 相的含量减少,经时效处理后,析出的次生 α 相却随着固溶温度的升高而增加,从而丝材的强度提高,而塑性有所降低。

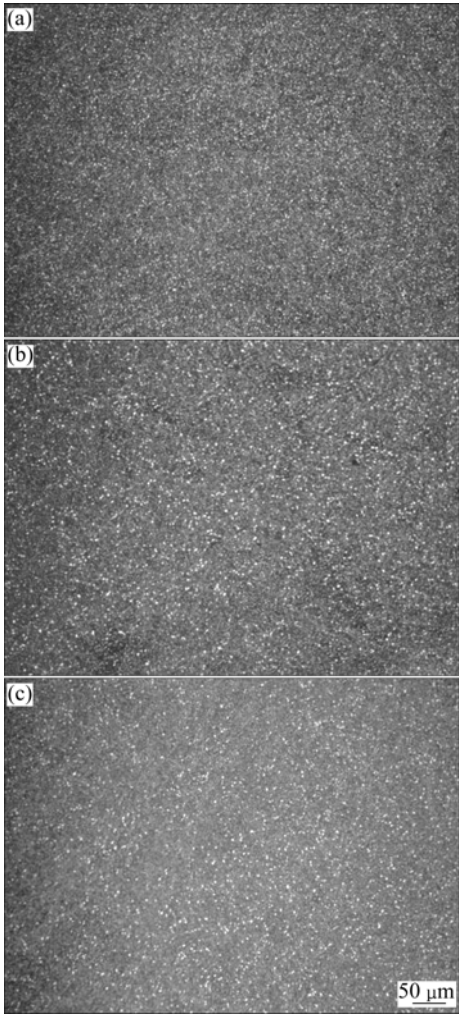


图 2 三种退火制度下的显微组织
Fig.2 Microstructures of TC18A alloy wire with different annealing temperatures: (a) A1 sample; (b) A7 sample; (c) A13 sample

同样,当固溶温度相同时,时效温度越低,析出的次生 α 增多,丝材的强度增加,而塑性降低。

3 结论

- 1) 在 720~780 ℃,TC18 改进型钛合金 TC18A 丝材随退火温度的升高强度降低,塑性变化不大,但当温度超过 780 ℃ 时,退火温度对丝材拉伸性能影响不明显。
- 2) 当时效温度相同时,随着固溶温度的升高,丝材强度增加,塑性降低。
- 3) 当固溶温度相同时,丝材强度随时效温度的升高而降低,塑性增加。

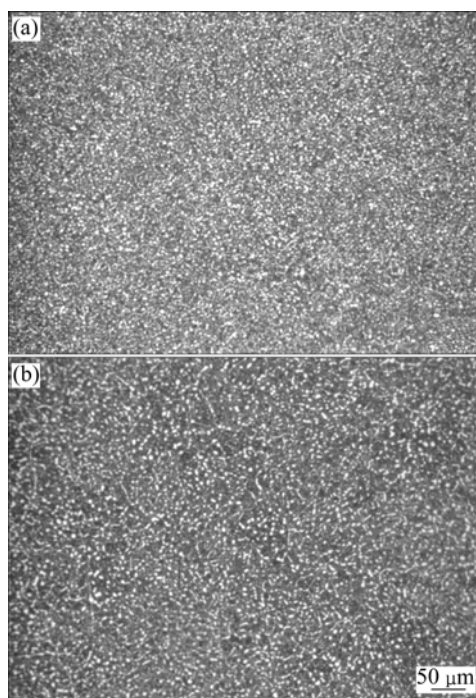


图 3 方案 6 和 10 两种热处理制度下 TC18A 合金丝材的显微组织

Fig.3 Microstructures of TC18A alloy wire with scheme 6 (a) and scheme 10 (b)

REFERENCES

- [1] 孟笑影, 殷俊林. 热处理工艺对 TC18 钛合金组织和性能的影响[J]. 热处理, 2006, 21(1): 36–40.

MENG Xiao-ying, YIN Jun-lin. Effect of heat treatment process on structure and property of TC18 titanium alloy [J]. Heat Treatment, 2006, 21(1): 36–40.

- [2] 沙爱学, 李兴无, 王庆如, 鲍如强. 热变形温度对 TC18 钛合金显微组织和力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2005, 15(8): 1167–1172.
SHA Ai-xue, LI Xing-wu, WANG Qing-ru, BAO Ru-qiang. Influence of hot deformation temperature on microstructure and mechanical properties of TC18 alloy [J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2005, 15(8): 1167–1172.
- [3] LYASOTSKAYA V S, KNYAZEVA S I, FEDORAVA L V. The selection of thermocycling treatment types applied to the welded joints of titanium alloys [C]// LUTJERING G, ALBRECHT J. Ti-2003 Science and Technology. Hamburg: DGM, 2004: 707–710.
- [4] KUBIAK K, HADASIĆ E, SIENIAWSKI J, POLKIN S. Influence of microstructure on hot plasticity of Ti-6Al-4V and Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe titanium alloys [C]// LUTJERING G, ALBRECHT J. Ti-2003 Science and Technology. Hamburg: DGM, 2004: 371–376.
- [5] HORWATCH W, MARKETZ W, GACH E. Take-off on titanium [C]// LUTJERING G, ALBRECHT J. Ti-2003 Science and Technology. Hamburg: DGM, 2004: 2713–2719.
- [6] FANNING J C, BOYER R R. Properties of TIMETAL555—A new near-beta titanium alloy for airframe components [C]// LUTJERING G, ALBRECHT J. Ti-2003 Science and Technology. Hamburg: DGM, 2004: 2643–2649.

(编辑 杨 兵)