

时效处理对 Ti65 高温钛合金性能的影响

王 旭, 李四清, 李臻熙, 黄 旭, 刘晶南

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘 要: 研究 Ti65 高温钛合金的时效处理工艺, 分析不同时效处理的固溶态 Ti65 高温钛合金的室温拉伸性能和 650 °C 拉伸性能、持久性能、抗蠕变性能以及热稳定性。结果表明: 时效温度为 700 °C 时, Ti65 高温钛合金具有良好的热稳定性; 延长时效保温时间, 可以提高合金的抗蠕变性能; 提高时效温度和延长时效保温时间, 均降低 Ti65 高温钛合金的持久性能。

关键词: Ti65 合金; 时效温度; 时效时间; 力学性能; 热稳定性

中图分类号: TG156.1

文献标志码: A

Effects of aging treatment on properties of Ti65 high-temperature titanium alloy

WANG Xu, LI Si-qing, LI Zhen-xi, HUANG Xu, LIU Jing-nan

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

Abstract: The aging treatment process of Ti65 high-temperature titanium alloy was studied. The tensile property at room temperature and tensile property, endurance property, creep property and thermal stability at 650 °C of the alloy were tested. The results show that Ti65 high-temperature titanium alloy has good thermal stability by aging treatment at 700 °C. By increasing the aging time, the creep property of the alloy is improved. By increasing the aging time and aging temperature, the properties of Ti65 alloy are reduced.

Key words: Ti65 alloy; aging temperature; aging time; mechanical property; thermal stability

高温钛合金作为航空发动机重要的结构材料已经成为研究的热点^[1-3]。目前, 已使用的高温钛合金的服役温度最高可达 600 °C, 其中以英国的 IMI834 合金和美国的 Ti-1100 合金等为 600 °C 钛合金的典型代表^[4-8]。但随着航空发动机推动比的不断提高, 发动机高压压气机后段的工作温度将超过 600 °C, IMI834 合金和 Ti-1100 合金已经无法满足航空发动机的设计要求。为满足航空发动机对高温钛合金的需求, 国内在 600 °C 钛合金的基础上, 研发了最高使用温度达到 650 °C 的高温钛合金 (称为 Ti65 高温钛合金), 并开展了许多工作^[9-10]。其中北京航空材料研究院开展了对 Ti65 合金的性能优化研究。本文作者通过调节时效处理参数控制合金的力学性能, 最终优化时效处理参数, 使锻件获得良好的热强度和热稳定性匹配。

1 实验

本研究中使用三次真空自耗熔炼 Ti65 高温钛合金, 名义成分为 Ti-6.5Al-2Sn-4Zr-2.5Mo-1.4W-0.2Si (质量分数)。试样坯料为经过预制坯锻造和热模锻制备的航空锻件。为研究时效处理对合金性能的影响, 对经过 1 030 °C 保温 2 h 油冷(OQ)固溶处理(ST)后的试样毛坯分别于 700 和 750 °C 两个时效温度和 2、5、7 h 3 个时效时间进行处理, 具体时效处理参数如表 1 所列。将不同时效处理后的材料加工成拉伸、持久和蠕变试样。其中热稳定性拉伸试样为固溶时效处理后的毛坯料于 650 °C 热暴露 100 h 空冷后按照标准加工的室温拉伸试样。

表1 时效处理工艺

Table 1 Aging processes of Ti65 alloy

Number	Processing
A	ST, 700 °C, 5 h, AC
B	ST, 750 °C, 5 h, AC
C	ST, 700 °C, 2 h, AC
D	ST, 700 °C, 7 h, AC

2 结果与讨论

2.1 时效温度对 Ti65 高温钛合金性能的影响

经时效处理后的 Ti65 高温钛合金拉伸性能如表 2 所列。由表 2 可知, 时效温度由 700 °C 提高到 750 °C, 合金的室温拉伸强度有所降低, 而塑性略有提高。合金在 650 °C 高温下保持较好的拉伸性能, 且性能水平基本相当。两种时效制度下, 热暴露后的拉伸性能与未经热暴露试样的性能无明显差异, 说明两种时效处理后的合金于 650 °C 均具有良好的热稳定性, 但 700 °C 时效后的热稳定性比 750 °C 时效温度工艺的性能稍好。

表2 时效处理后 Ti65 合金的拉伸性能

Table 2 Tensile properties of Ti65 alloy after aging processes

Test temperature	Processing	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A /%	Z /%
Room temperature	A	1 080	994	10.7	18.1
	B	1 071	989	11.5	20.6
650 °C	A	627	516	19.9	52.6
	B	626	517	22.3	46.3
Room temperature	A+(650 °C, 100 h, AC)	1 116	1 041	9.1	13.3
	B+(650 °C, 100 h, AC)	1 095	1 018	8.0	10.9

时效温度对 Ti65 高温钛合金于 650 °C 的持久性能的影响如图 1 所示。由图 1 可知, 700 °C 时效后 Ti65 高温钛合金的 650 °C 持久性能优于 750 °C 时效处理的试样。时效温度对合金在 650 °C 的蠕变性能的影响如表 3 所示。由表 3 可知, Ti65 高温钛合金在两种不同时效温度处理后的高温蠕变性能无明显差异, 均保持较高的抗蠕变性。

2.2 时效时间对 Ti65 高温钛合金性能的影响

时效时间对 Ti65 高温钛合金的室温拉伸性能、

650 °C 拉伸性能以及 650 °C 热稳定性能的影响如表 4 所示。从表 4 可以看出, Ti65 高温钛合金的室温和 650 °C 拉伸性能以及 650 °C 热稳定性能对时效时间的变化不敏感, 各时效时间下获得的性能基本相当。

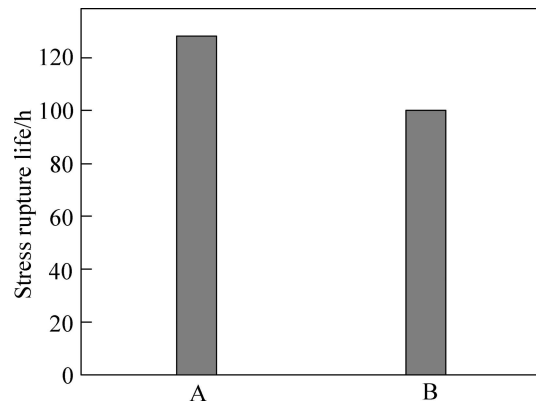


图1 不同时效温度条件下 Ti65 合金的高温持久性能

Fig. 1 High temperatures stress rupture properties of Ti65 alloy aged at different temperatures

表3 不同时效温度条件下 Ti65 合金的高温蠕变性能

Table 3 High temperature creep properties of Ti65 alloy aged at different temperatures

Processing	ϵ_p /%	σ /MPa	τ /h
A	0.160	100	100
B	0.134	100	100

表4 不同时效时间条件下 Ti65 合金的高温拉伸性能和热稳定性能

Table 4 High temperature tensile properties and thermal stability of Ti65 alloy aged for different time

Test temperature	Aging process	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A /%	Z /%
Room temperature	C	1 065	976	10.9	17.9
	A	1 080	994	10.7	18.0
	D	1 070	978	11.3	18.7
	C+(650 °C, 100 h, AC)	1 116	1 041	9.1	13.3
650 °C	A+(650 °C, 100 h, AC)	1 094	1 017	8.5	12.8
	D+(650 °C, 100 h, AC)	1 114	1 034	9.1	13.4
	C	636	525	18.8	48.1
	A	627	516	19.9	52.6
	D	625	516	20.3	47.7

时效时间对 Ti65 高温钛合金的 650 °C 持久性能的影响如图 2 所示。由图 2 可知, 随着时效时间的延长, Ti65 高温钛合金的 650 °C 持久性能略有降低。

时效时间对 Ti65 高温钛合金的 650 °C 蠕变性能的影响如表 5 所示, 从表 5 可知, 随着时效时间的延长, Ti65 高温钛合金的 650 °C 蠕变性能有一定的提高。

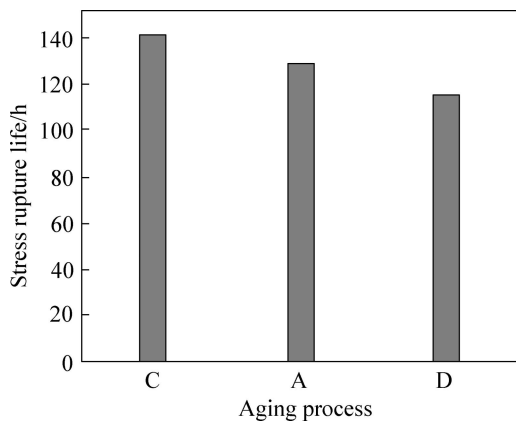


图 2 不同时效时间下 Ti65 合金的高温持久性能

Fig. 2 Stress rupture properties of Ti65 alloy aged for different time at 650 °C and 240 MPa

表 5 不同时效时间条件下 Ti65 合金的高温蠕变性能

Table 5 Creep properties of Ti65 alloy at 650 °C aged for different time

Processing	$\epsilon_p/\%$	σ/MPa	τ/h
C	0.192	100	100
A	0.160	100	100
D	0.135	100	100

3 结论

1) 随时效温度的提高, Ti65 高温钛合金室温拉伸强度和持久性能有所降低, 塑性升高; 650 °C 高温拉伸性能、热稳定性能和蠕变性能变化不大。

2) 随时效时间的延长, Ti65 高温钛合金的拉伸性能变化不大, 持久性能降低, 抗蠕变性能提高。

REFERENCES

[1] 蔡建明, 李臻熙, 马济民, 黄 旭, 曹春晓. 航空发动机用

600 °C 高温钛合金的研究与发展[J]. 材料导报, 2005, 19(1): 50-53.

CAI Jian-ming, LI Zhen-xi, MA Ji-min, HUANG Xu, CAO Chun-xiao. Research and development of 600 °c high temperature titanium alloys for aeroengine[J]. Materials Review, 2005, 19(1): 50-53.

[2] 付艳艳, 宋月请, 惠松晓, 米绪军. 航空用钛合金的研究与应用进展[J]. 稀有金属, 2006, 30(6): 850-856.

FU Yan-yan, SONG Yue-qing, HUI Song-xiao, MI Xu-jun. Research and application of typical aerospace titanium alloys[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2006, 30(6): 850-856.

[3] 曾立英, 赵永庆, 洪 权, 毛小南, 戚运莲. 600 °C 高温钛合金的研发[J]. 钛工业进展, 2012, 29(5): 1-5.

ZENG Li-ying, ZHAO Yong-qing, HONG Quan, MAO Xiao-nan, QI Yun-lian. Research and development of high temperature titanium alloys at 600 °C[J]. Titanium Industry Progress, 2012, 29(5): 1-5.

[4] MESHARAM S D, MOHANDAS T. Influence of matrix microstructure on aging response of near alpha titanium alloy (IMI 834) parent metal and welds on toughness[J]. Materials Science & Technology, 2011, 27(1): 235-239.

[5] NIDHI S, GOUTHAMA, VAKIL S. Low cycle fatigue behavior of Ti alloy IMI834 at room temperature[J]. Materials Science and Engineering A, 2002, 325(1/2): 324-332.

[6] MISHRA H, GHOSAL P, NANDY T K SAGAR P K. Influence of Fe and Ni on creep of near α -Ti alloy IMI834[J]. Materials Science and Engineering A, 2005, 399(1/2): 222-231.

[7] BAXTER G J, RAINFORTH W M, GRABOWSKI. TEM observations of fatigue damage accumulation at the surface of the near- α titanium alloy IMI834[J]. Acta Mater, 1996, 44(9): 3453-3463.

[8] VO P, JAHAZI M, YUE S. Recrystallization during thermomechanical processing of IMI834[J]. Metallurgical and Transactions A, 2008, 39(12): 2965-2980.

[9] 卢 斌, 杨 锐. 热处理对 650 °C 短时用 Ti650 板材显微组织和力学性能的影响[J]. 宇航材料工艺, 2007, 37(6): 77-81.

LU Bin, YANG Rui. Heat treatment on microstructure and mechanical properties of Ti650 alloy sheet for short-term use at 650 °C[J]. Aerospace Materials & Technology, 2007, 37(6): 77-81

[10] 王 永, 卢 斌, 杨 锐. 热处理对 Ti650 钛合金显微组织和相组成的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(s3): 704-707.

WANG Yong, LU Bin, YANG Rui. Effects of heat treatment on the microstructure and phase evolution of Ti650 titanium alloy[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(s3): 704-707.

(编辑 方京华)