

高温形变热处理对 TC4 钛合金 组织与性能的影响

黄 辉

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 工厂冶金室, 长春130022)

摘要 应用高温形变热处理技术, 研究了热处理工艺对其显微组织、力学性能的影响。结果表明, 950 °C 加热, 50% 形变水淬, 500 °C, 4 h 时效, 可使合金组织细化, 并可获得均匀缠结的位错和析出物弥散分布, 以及优异的综合力学性能。

关键词: 高温形变热处理; 结构; 钛合金

1 引 言

钛合金是一种新型金属结构材料和功能材料。同其它金属材料比较, 具有比强度(σ_b/γ)高、高温热强性好和耐腐蚀等优点。在常温下, 钛合金的比强度高于超硬铝, 甚至高于高强度结构钢。在400~550 °C 范围内, 钛合金比持久强度、比蠕变强度和比疲劳强度都明显优于耐热不锈钢^[1]。钛合金的线膨胀系数很小, 与光学玻璃的线膨胀系数相近。因此, 近30年来获得了迅速的发展, 目前它不仅是航天及航空工业中不可缺少的结构材料, 而且在造船、石油、化工、冶金、医疗、精密机械及仪器制造等工业部门也都获得了广泛应用。

TC4钛合金是综合性能优良的 $\alpha+\beta$ 型两相合金, 常用来制作飞机结构件。钛合金可以进行退火、固溶处理、时效、形变热处理和化学热处理。形变热处理方法, 即将压力加工(锻、轧等)与热处理工艺有效地结合起来, 则可同时发挥形变强化与热处理强化的作用, 得到单一的强化方法所不能获得的组织与综合性能。

本文的目的在于研究 TC4 钛合金在高温形变热处理时, 即加热→形变后水冷→时效过程中组织与性能变化。探讨了高温形变热处理对 TC4 钛合金的组织与性能影响。

2 试验材料及方法

试验材料化学成分如表1所示。试样原始状态为锻造、退火状态, 硬度为30~31 HRC。形变采用控制形变量的锻造方法来实现。

Table 1 Chemical composition of tested alloy (wt%)

content	Al	V	Fe	Si	C	N	H	O
	6.27	4.26	0.098	<0.04	0.01	0.02	0.001	0.12

TC4钛合金高温形变热处理工艺曲线如图1所示。加热温度为950 ℃，形变量分别为0%、30%和50%，时效温度为500 ℃，时效时间分别为2、4、8、16、30、60、120、240、480和720 min。

用光学显微镜、透射电子显微镜研究了 α 相形态、尺寸；用洛氏硬度计测定了各种状态下的硬度；采用万能材料试验机测定了强度和塑性指标。

3 试验结果与分析

3.1 形变量对显微组织的影响

在相同的固溶加热温度下，经不同形变量水淬，500 ℃ 4 h 时效后的光学显微组织如图2所示。透射电镜显微组织如图3、图4所示。

由图2中 a、b、c 可以看出，TC4合金在经不同形变量淬火之后得到的介稳组织都为 $\alpha+\alpha'$ 相， α' 相呈针状。由于形变量不同，针状 α' 相的形态和大小不同，形变量愈大，针状 α' 相愈细。当不同形变量的淬火合金在500 ℃，4 h 时效后的组织形态和大小更是大不相同，此时组织为 $\alpha+\beta$ 相。随着形变量增加，弥散析出的强化相更细小，形状趋于等轴状或细板状。图3为不同形变量淬火、时效后的透射电镜组织，更清楚的说明了随着形变量的增加，时效后的组织更细小、弥散。美国学者 weiss 通过对 Ti-6Al-4V 合金进行形变热处理，证明了采用高温形变及随后的热处理可控制 α 相形态(纵横比)和最终的晶粒尺寸^[2]。

3.2 形变量对力学性能的影响

TC4合金在950 ℃采用不同形变量淬火，540 ℃不同时间时效后的硬度值如表2所示。

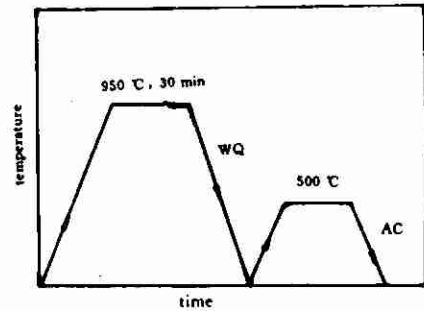
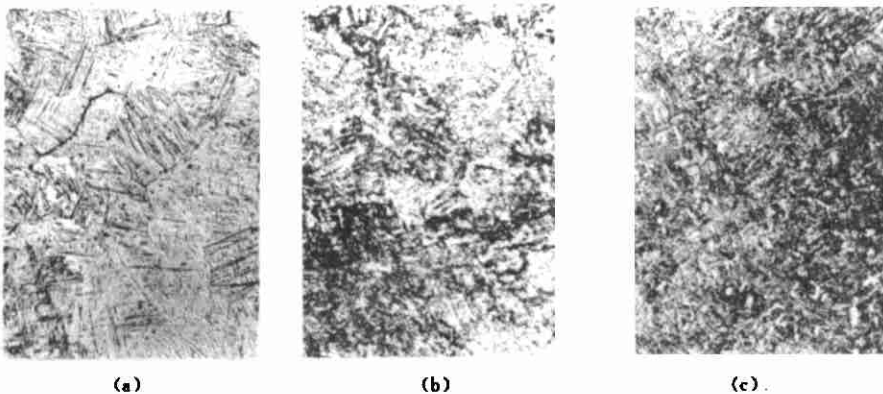


图1 TC4锻件形变处理工艺曲线

Fig. 1 Heat treatment and deformation sequences applied to wrought TC4



(a)

(b)

(c)

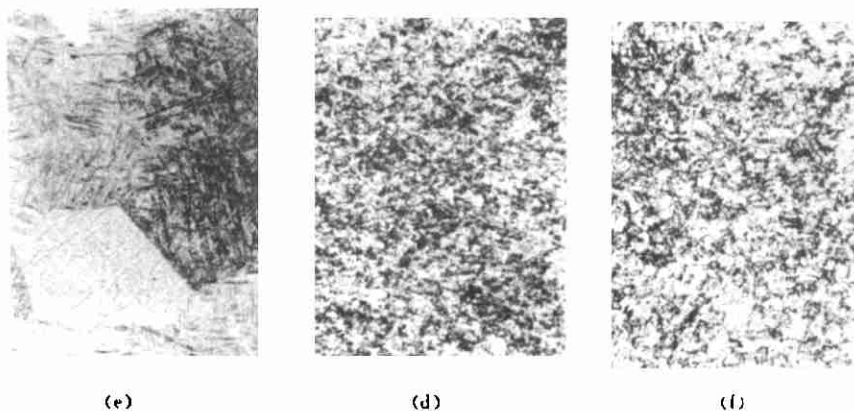


图2 不同高温形变热处理规程的光学显微组织

Fig. 2 Microstructures of the TC4 after HTTMT X100

(a) heating at 950 °C, (b) Heating at 950 °C, deformation to 30 pct, WQ
 (c) heating at 950 °C, deformation to 50 pct, WQ (d) as in (a) + aging at 500 °C for 4 h
 (e) as in (b) + aging at 500 °C for 4 h. (f) as in (c) + aging at 500 °C for 4 h.

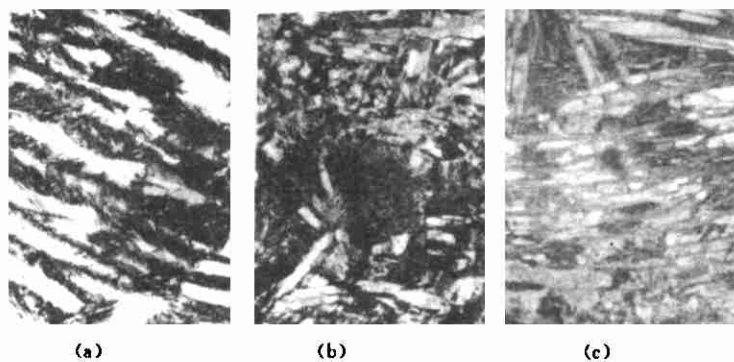


图3 不同高温形变热处理规程的透射电镜显微组织

Fig. 3 TEM microstructures of the TC4 after HTTMT X5000

(a) heating at 950 °C, WQ, aging at 500 °C for 4 h,
 (b) heating at 950 °C, deformation to 30 pct, WQ, aging at 500 °C for 4 h,
 (c) heating at 950 °C, deformation to 50 pct, WQ, aging at 500 °C for 4 h.



图4 高温形变热处理透射电镜显微组织

Fig. 4 TEM microstructures of the TC4 after HTTMT X5000

Table 2 Hardness after thermomechanical treatment TC4 alloy

deformation %	aging time min									
	2	4	8	16	30	60	120	240	480	720
0	36.0	36.5	37.0	37.5	37.5	38.0	38.5	39.0	39.0	39.0
30	36.0	36.5	37.5	38.0	38.5	39.0	39.5	40.5	40.5	40.5
50	36.0	36.5	37.5	38.0	39.0	39.5	40.0	41.5	41.5	41.5

由表2结果可以看出,在时效初期形变对淬火、时效后的硬度影响不大,当时间超过1小时后,形变加速时效过程和使硬度提高较明显。当时效时间为4小时,无形变正常淬火、时效后的硬度为39.0 HRC;而形变为50%淬火、时效后的硬度可达41.5 HRC。显而易见,随着形变量增加,硬度也在增加。测定不同形变量淬火、500 °C时效4小时各组综合机械性能指标如表3

所示。

Table 3 Mechanical properties after heating at 950 °C deformation quenching, aging 4 h at 500 °C

deformation %	σ_b MPa	σ_s MPa	δ %	ψ %	HRC
0	1035	965	8	20	39.0
30	1098	981	8	19	40.5
50	1151	992	8	18	41.5

表3中数据表明了随着形变量增加,强度指标在提高,而塑性指标无明显变化。正如图4电子显微组织分析结果所示,在形变淬火之后,有缠结的位错亚结构存在,它能促进析出相成核与长大,导致弥散、细小析出物的良好分布^[3],这时是弥散硬化与相变硬化共同作用,因此强度、硬度均高。

从上面的结果分析可以看出,TC4钛合金在950 °C固溶加热,形变量为50%水淬,500 °C,4小时时效可以获得最佳强化效果。

4 结 论

(1)TC4合金可以通过高温形变热处理获得最佳组织与综合机械性能。最佳工艺可选择950 °C+50%形变水淬,500 °C,4 h时效。

(2)TC4合金高温形变热处理的效果决定于合金组织的明显细化,以及均匀缠结的位错排列和细小弥散的析出亚结构的形成。

(3)TC4合金高温形变热处理工艺易于实现,有优异的强化效果。

参 考 文 献

- [1] 袁培相,国产航空钛合金及其制件的热处理.金属热处理,1994,(3):3
 [2] I. weiss, Modification of Alpha Morphology in Ti-6Al-4V by Thermomechanical Processing, Metallurgical Transactions A, 1989, 17A(10):1935
 [3] А. И. Хорев, Термомеханическая и Механикотермическая Обработки Титановов. М И ТОМ, 1979,(3):53

Effect of High Temperature Thermomechanical Treatment (HTTMT) on the Structures and Properties of TC4 Alloy

Huang Hui

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The effects of heat treatment process on the microstructures, the mechanical properties

of TC4 alloy were studied using HTTMT technology. The results showed that using heating at 950 °C, deformation 50 pct, following water quenching, aging 4 h at 500 °C, then TC4 alloy had grain refinement and a uniformly tangled dislocation and precipitate array and excellent mechanical properties.

Key words;High temperature thermomechanical treatment, Structures, Titanium alloy

黄 辉 女,生于1940年11月29日,1964年8月毕业于哈尔滨工业大学金相专业,毕业后一直从事金属材料、热处理及表面处理工作。曾经获得中国科学院二等科技成果奖、吉林省三等科技成果奖和四等科学进步奖;在国内外专业刊物上发表四十余篇科技论文,其中LD2锻铝合金的形变热处理发表在英国材料科学杂志上并被收入SCI文库,LD2锻铝热处理及稳定性一文被收入CA文库。