

锻造温度对 TC4-DT 钛合金棒材力学性能及显微组织的影响

史小云, 付宝全, 王文盛, 唐晓东, 陈小苗

(西部超导材料科技有限公司, 西安 710018)

摘 要: 研究不同的锻造温度对 TC4-DT 棒材力学性能及显微组织的影响。结果表明: 随着锻造温度的升高, 试样的室温强度和塑性明显提高, 但当温度升高到相变点以上时, 强度开始降低。从显微组织来看, 在相变点以下时, 温度的升高导致初生 α 相含量明显降低, 条状次生 α 相明显增多; 当温度升高到相变点以上时, 得到片状组织, 温度越高, 片状组织越粗大。因此, 细小的次生 α 相对于强度的贡献要大于初生 α 相, 原因是采用了同样的热处理制度, 固溶强化的效果基本相同, 强化作用主要由界面产生。

关键词: TC4-DT 钛合金; 力学性能; 显微组织

中图分类号: TG146.23

文献标志码: A

Effect of forging temperature on mechanical property and microstructure of TC4-DT titanium

SHI Xiao-yun, FU Bao-quan, WANG Wen-sheng, TANG Xiao-dong, CHEN Xiao-miao

(Western Superconducting Technologies Co., Ltd., Xi'an 710018, China)

Abstract: The effects of forging temperature on mechanical property and microstructure of TC4-DT titanium were researched. The results show that the room temperature tensile intensity and plasticity of samples increase with increasing forging temperature below transformation temperature. And room temperature tensile intensity increases when the forging temperature increases above the transformation temperature. With increasing forging temperature under transformation temperature, the primary α phase is reduced, and secondary α phase obviously increases. While forging temperature is above transformation temperature, the film structure appears. And film structure grows large with increasing forging temperature. Therefore, secondary α phase is more favorable to intensity.

Key words: TC4-DT titanium; mechanical property; microstructure

钛合金具有密度小、强度高、耐高温和耐腐蚀性好等优点, 在航空航天领域中获得了广泛的应用。美国在 20 世纪 80 年代以后设计的各种先进战机中, 钛合金用量已经达到 20% 以上。如第三代战斗机 F-15 钛合金用量占 27%, 而第 4 代战机 F-22 钛合金用量高达 41%^[1]。近些年, 随着航空工业的快速发展, 对钛合金性能的要求发生了很大改变。高的断裂韧性和低的疲劳裂纹扩展速率, 已成为新型战机结构选材的主要参考方向。国外具有高断裂韧性和低裂纹扩展速率

的中强或高强损伤容限型钛合金已成功应用于民用和军用飞机的结构件^[2]。为了增强国内航空能力, “十五”期间我国立项研制了新型的中强高损伤容限型 TC4-DT 钛合金。TC4-DT 钛合金具有中等强度、高韧性、高损伤容限和长疲劳寿命等综合性能的良好匹配^[3], 已成为新型战机主体结构材料之一。

TC4-DT 钛合金中的氧含量比 TC4 钛合金中的氧含量低, 其变形抗力小, 塑性好。但由于它的研发时间短, 具体加工工艺对最终棒材各项性能的影响还未

得到充分研究，未形成良好的技术基础。因此，本文作者研究不同的锻造温度对 TC4-DT 钛合金大规格棒材力学性能及显微组织的影响。

1 实验

1.1 材料

采用西部超导材料科技有限公司自行生产的 TC4-DT 钛合金铸锭，锭型 d 720 mm，质量约 4 000 kg，化学成分如表 1 所列，相变点为 980~990 $^{\circ}$ C。铸锭经快锻机多火次反复锻拔后，得到合格的 d 380 mm 的棒材。

表 1 棒材化学成分

Table 1 Composition of bars

Position	Mass fraction/%			
	Ti	Al	V	Fe
Top	Bal.	6.0	4.10	0.05
Middle	Bal.	6.1	4.12	0.04
Bottom	Bal.	6.1	4.14	0.05
Requirement	Bal.	5.6~6.5	3.4~4.5	0.25

Position	Mass fraction/%			
	C	N	O	H
Top	0.01	0.007	0.11	< 0.001
Middle	0.01	0.007	0.11	0.001
Bottom	<0.01	0.008	0.11	0.001
Requirement	0.05	0.03	0.13	0.012 5

1.2 试验过程

在 d 380 mm 棒材上锯切 75 mm 长的试验坯，并沿半径均分 5 份，作为锻造初始试验坯。5 个试验坯的编号及对应的锻造温度如表 2 所列。

表 2 试验坯的编号及锻造温度

Table 2 Samples numbers and their forging temperatures

No.	Temperature/ $^{\circ}$ C
1#	1 100
2#	1 040
3#	950
4#	900
5#	850

5 个试验坯根据表 2 加热，保温 30 min 后，在快锻机上进行锻粗至 30 mm。

1.3 试验内容

在 5 个 30 mm 厚的试验坯上切取组织和室温拉伸试样。试样经 750 $^{\circ}$ C，2 h，AC 热处理后，观察它们的组织和测试相应的室温拉伸性能，并计算锻粗后每个试样初生 α 相的含量。

2 结果与分析

2.1 锻造温度对显微组织的影响

显微组织是材料性能的内在表现形式，对性能起着决定性作用。而显微组织的形成又由材料的加工工艺所控制，加工方法和加工过程中的工艺参数都对组织有重要的影响。本研究中的热加工前棒材原始态显微组织和热加工后的显微组织如图 1 所示。

从图 1 可以看出，热加工前，棒材的原始态显微组织为等轴的 $\alpha+\beta$ 组织，且初生 α 相呈椭圆或短棒状，含量都在 60%以上。热加工后，棒材的显微组织发生了很大变化。当锻造温度在相变点以上时，显微组织为片状(魏氏)组织，它的特征是具有粗大的 β 晶粒和较完整的晶界 α 相，在 β 晶粒内存在位向不同的条状 α 相；当锻造温度在相变点以下时，显微组织为 $\alpha+\beta_t$ 组织，它的特征是在转变的 β 基体上交错、均匀地分布着等轴 α 相。当锻造温度在相变点以上时，随着温度的升高，片状组织变宽而长；随着温度的降低，片状组织变细而短。当锻造温度在相变点以下时，随着温度的升高，初生 α 相减少，条状的 β_t 增多；随着温度的降低，初生 α 相增多，条状的 β_t 减少，且条状变短、变细。

2.2 锻造温度对初生 α 相含量的影响

锻造温度对初生 α 相含量的影响如表 3 和图 2 所示。

表 3 初生 α 相含量

Table 3 Content of primary α phase

Temperature/ $^{\circ}$ C	ϕ /%
1 100	0
1 040	0
950	32.7
900	63.3
850	70.1

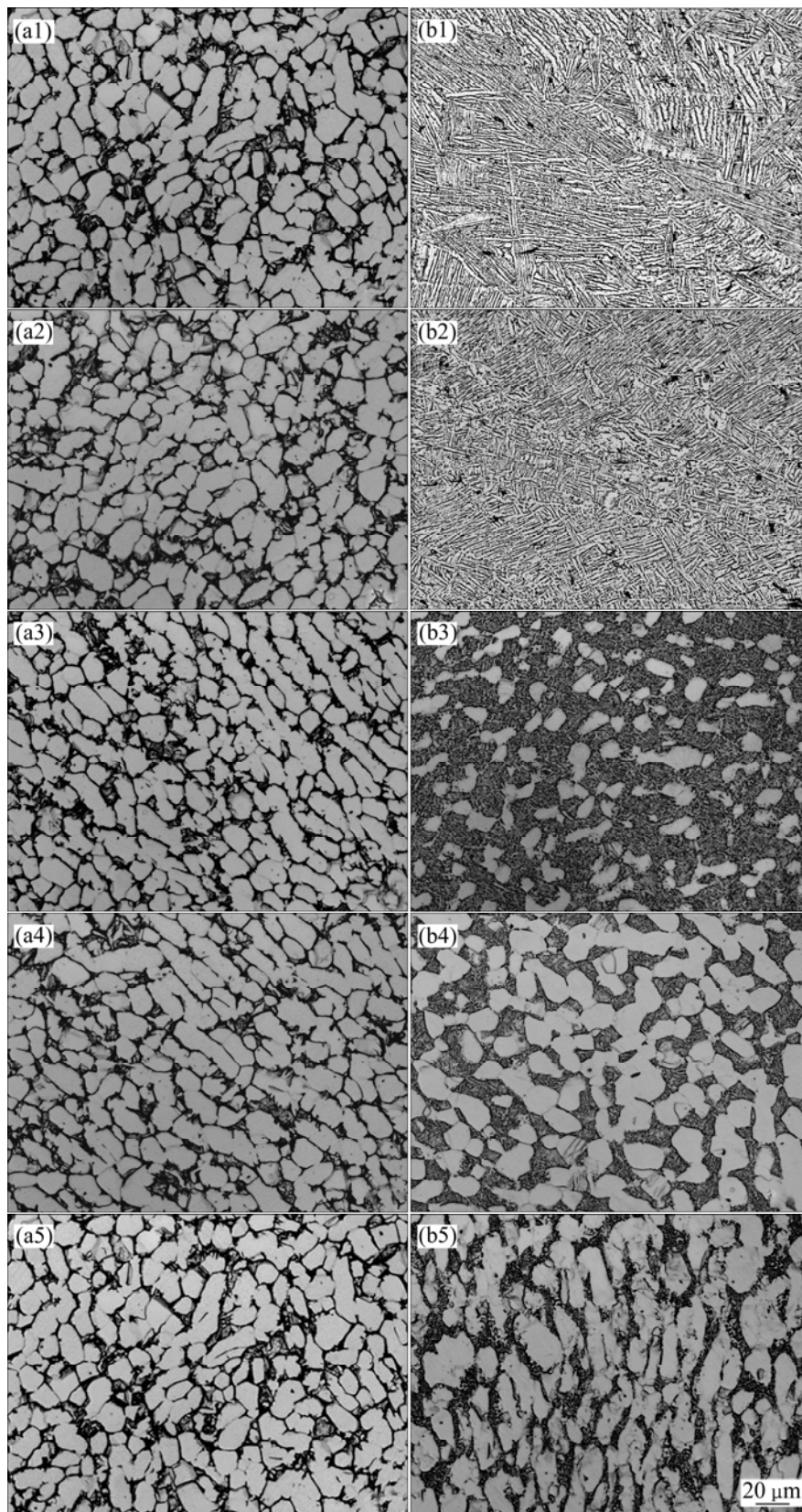
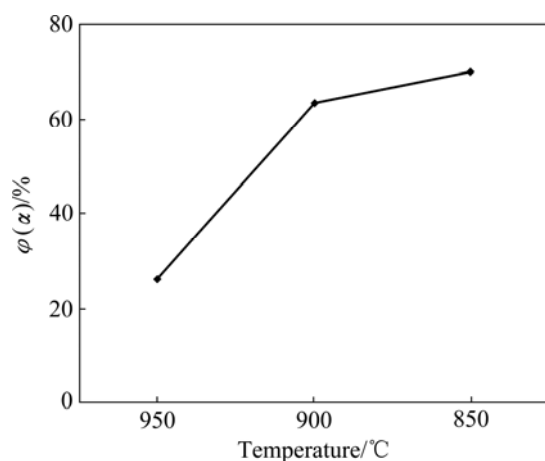


图 1 棒材的显微组织

Fig.1 Microstructures of bars: (a1) Sample 1, before upset; (a2) Sample 2, before upset; (a3) Sample 3, before upset; (a4) Sample 4, before upset; (a5) Sample 5, before upset; (b1) Sample 1, after upset; (b2) Sample 2, after upset; (b3) Sample 3, after upset; (b4) Sample 4, after upset; (b5) Sample 5, after upset

图2 锻造温度与初生 α 相含量的关系Fig.2 Relationship between forging temperature and primary α phase content

从表3和图2可以看出,锻造温度越低,初生等轴 α 相的含量越多。这与图1相符。当在相变点以下、锻造温度在900℃以上时,初生等轴 α 相的含量随着锻造温度的降低而急剧增加;当锻造温度在900℃以下时,初生等轴 α 相含量随着锻造温度的降低而缓慢增加。

$\alpha+\beta$ 的双相钛合金对温度的敏感性很强,显微组织随着温度的变化而变化。本研究结果进一步验证了这一点。本研究的显微组织随温度的变化结果可以很好地为实际生产服务,根据锻件组织要求,选择合适的锻造温度。

2.3 锻造温度对室温拉伸性能的影响

组织决定性能,不同组织形态的锻件具有不同的力学性能。热加工后的5个试验坯的横向室温拉伸性能如图3所示。

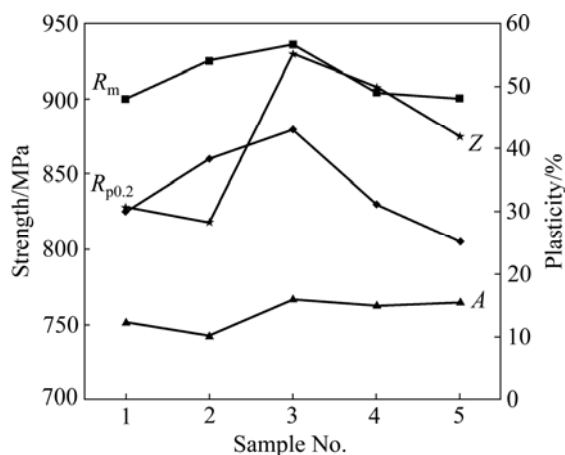


图3 锻粗后5个试验坯的横向室温拉伸性能图

Fig.3 Room temperature tensile properties on transverse of five test billets

从图3可以看出,当锻造温度在相变点以上时,随着锻造温度的升高,强度降低,塑性增加;当锻造温度在相变点以下时,随着锻造温度的升高,强度增加,塑性也在增加。

文献[4]中提到:初生 α 相含量对TC4钛合金的室温抗拉强度影响不大。因此,本研究中强度变化的主要因素是次生 α 相。次生 α 相主要起固溶-时效强化的作用。次生 α 相越多,固溶-时效强化越强,强度随之增大。相变点以上的性能变化和显微组织形貌关系较大。从图1(b1)和(b2)的显微组织看出:(b2)的相界比(b1)的相界多,这对性能的影响较大。相界增多,位错的滑移方向增多,强度也随之增强。

3 结论

1) 当在相变点以上锻造时,显微组织为片层组织;当锻造温度在相变点以下时,显微组织为等轴的 $\alpha+\beta$ 组织。

2) 片层组织随着温度的降低变宽变短;等轴的 $\alpha+\beta$ 组织随着温度的降低,初生等轴 α 相增多, β_t 由条状向球状转化。

3) 当锻造温度在900℃以上时,初生等轴 α 相含量随着锻造温度的降低而急剧增加;当锻造温度在900℃以下时,初生等轴 α 相含量随着锻造温度的降低而缓慢增加。

4) 当锻造温度在相变点以上时,室温拉伸强度随着温度的降低而增强;当锻造温度在相变点以下时,室温拉伸强度随着温度的降低而降低。

REFERENCES

- [1] 彭艳萍, 曾凡昌, 王俊杰, 等. 国外航空钛合金的发展应用及其特点分析[J]. 材料工程, 1997(10): 3-6.
- [2] 中国航空研究院. 军用飞机疲劳-损伤容限-耐久性设计手册(第三册)[M]. 北京: 中国航空研究院, 1994.
- [3] 王新南, 朱知寿, 董路, 等. 锻造工艺对TC4-DT和TC21损伤容限性钛合金疲劳裂纹扩展速率的影响[J]. 研发与应用, 2008, 27(7): 12-16.
- [4] 中国机械工程学会. 锻压手册[M]. 北京: 北京工业出版社, 2002.

(编辑 杨 华)