

TC4 合金棒材的纵向微观组织

王建斌, 胡宗式, 邵 军, 陶海林, 薛虎明, 周书成

(宝鸡钛业股份有限公司, 宝鸡 721014)

摘 要：通过对 TC4 纵向高倍组织进行分析，研究轧制加工率、热处理方法对 TC4 棒材纵向组织的影响。结果表明：高的热处理温度可以细化纵向晶粒，但有限度；大的加工率可以细化晶粒，得到细的纵向高倍组织的棒材，满足国外用户的要求；坯料预热处理和合理轧制工艺可以得到细的纵向高倍组织。确定了纵向细晶组织棒材的工艺路线及参数，得到了组织、退火性能满足 GB/T13810—2007，固溶时效性能满足 GJB2219—1994 要求的棒材。
关键词：钛合金；Ti-6Al-4V 合金；显微组织；退火性能

中图分类号：TG146.2

文献标志码：A

Longitudinal microstructures of Ti-6Al-4V alloy bars

WANG Jian-bin, HU Zong-shi, SHAO Jun, TAO Hai-lin, XUE Hu-ming, ZHOU Shu-cheng

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

Abstract: The influence of rolling methods and heat treatment on Ti-6Al-4V alloy's longitudinal microstructure and grain size were investigated. The results show that high temperature's heat treatment can limitedly fine the longitudinal grain; bigger processing rate can also fine the grain. The microstructure and the annealed mechanical properties obtained can meet the standard of GB/T13810 — 2007 and the mechanical properties of STA condition meet the standard of GJB2219—94 and US clients' requirements.

Key words: titanium alloy; Ti-6Al-4V alloy; microstructure; annealing property

TC4 合金是 $\alpha+\beta$ 型钛合金，其名义化学成分为 Ti-6Al-4V。该合金具有良好的室温、高温力学性能，在宇航、舰船、兵器、医疗及化工领域得到广泛应用，是目前应用最广泛的钛合金^[1-2]。国外制造 TC4 合金标准件的企业向中国订购小规格棒材，要求细小的纵向晶粒，以保证标准件的顺利加工和产品性能。国内外标准中，高倍组织检查都是针对棒材的横向的，对纵向高倍组织的不要求检查。本文作者对 TC4 合金棒材的纵向组织进行了工艺研究。

1 实验

1.1 材料

选用本公司生产的 TC4 钛合金精锻棒材，原始金相组织为两相区加工组织。

1.2 实验方案

实验方案见表 1。

表 1 实验方案

Table 1 Test schemes

Test No.	Content
1	坯料 R 态，经小加工率轧制，低温和高温热处理实验
2	坯料 R 态，不同加工率轧制
3	坯料进行预热处理，经小加工率轧制

2 实验结果

2.1 高倍组织

方案 1 图 1~3 所示为实验方案 1 纵向高倍组织(1#试样)。图 1 为 R 态, 图 2 为低温退火态, 两者无明显区别。图 3 为高温退火态, 与低温退火态相比,

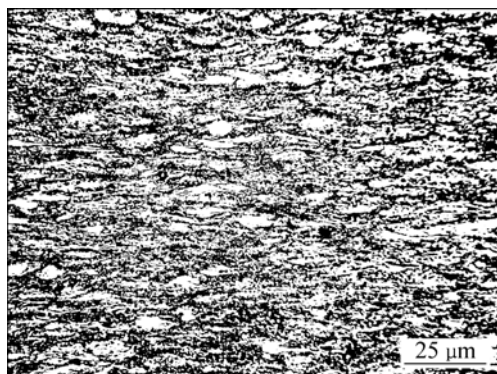


图 1 1#纵向组织图

Fig.1 Longitudinal microstructure of sample by scheme 1 under rolling condition

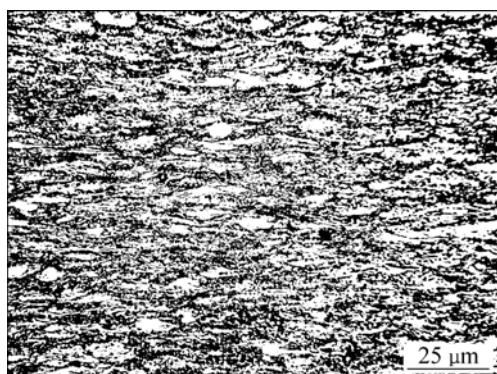


图 2 1#低温退火纵向组织

Fig.2 Annealed longitudinal microstructure of sample by scheme 1 at low temperature

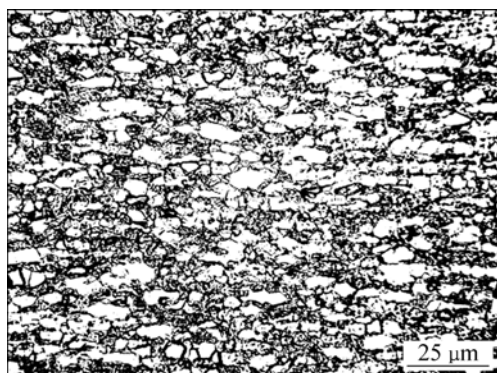


图 3 1#高温退火纵向组织

Fig.3 Annealed longitudinal microstructure of sample by scheme 1 at high temperature

纵向晶粒有较大的变化, 晶粒的大小趋于均匀, 但是晶粒尺寸偏大。

方案 2: 不同加工率轧制纵向高倍组织见图 4(1#试样)和图 5(2#试样)。图 5 纵向组织符合用户要求。

方案 3: 图 6 和图 7 中晶粒比较细小, 纵向和横向差别不大。符合用户要求。但纵向的 α 长度较长。

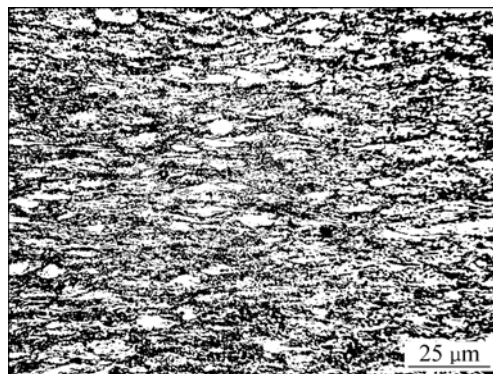


图 4 1#小加工率低温退火纵向组织

Fig.4 Longitudinal microstructure of sample by scheme 1 small rolling deformation at low temperature

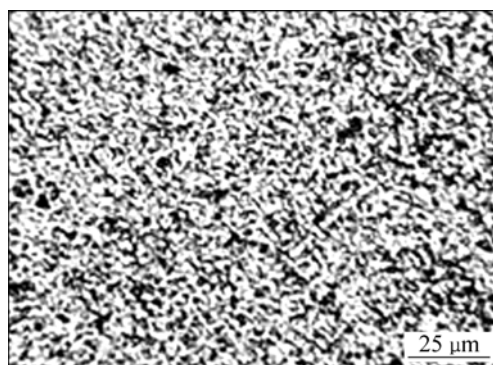


图 5 2#大加工率低温退火纵向组织

Fig.5 Longitudinal microstructure of sample by scheme 2 large rolling deformation at low temperature



图 6 3#低温退火横向组织

Fig.6 Transverse microstructure of sample by scheme 3 at low temperature

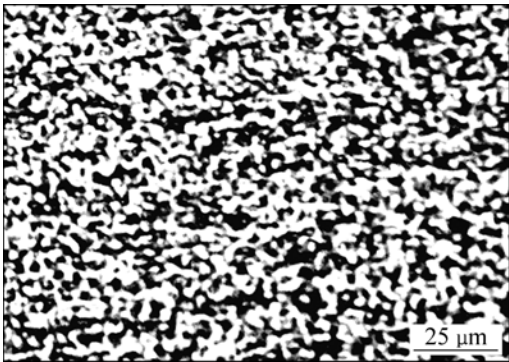


图 7 3#低温退火纵向组织

Fig.7 Longitudinal microstructure of sample by scheme 3 at low temperature

2.2 性能

退火室温力学性能见表 2，固溶时效室温力学性能见表 3。可见以上 3 种方案性能都能满足标准要求。

表 2 退火室温力学性能

Table 2 Mechanical properties of samples annealed at low temperature

Sample No.	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A_5 /%	Z /%
1#	1 010	975	16	47
	1 010	970	17	47
2#	1 010	965	17	50
	1 010	965	18	50
3#	1 020	960	16	48
	1 020	960	16	48
GB/T13810	895	825	10	25

表 3 固溶时效室温力学性能

Table 3 Mechanical properties of samples under STA condition

Sample No.	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A_5 /%	Z /%
1#	1 200	1 100	16	53
	1 200	1 090	14	50
2#	1 230	1 130	14	47
	1 230	1 150	15	48
3#	1 230	1 150	16	58
	1 230	1 150	16	59
GJB2219—94	1 100	1 000	10	20

3 结果与分析

3.1 热处理温度的影响

热处理温度和晶粒大小的关系见图 8。

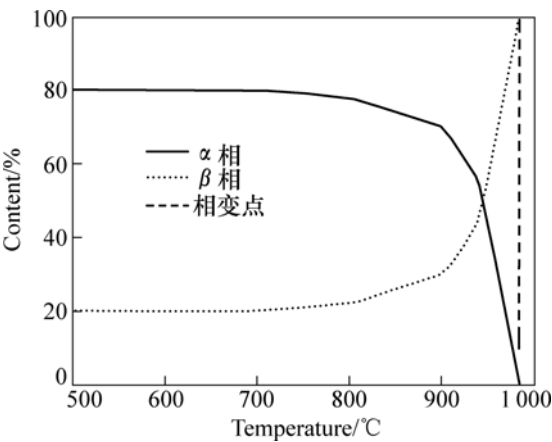


图 8 TC4 合金中 α 及 β 相含量和热处理温度的关系

Fig.8 Relationship between α and β contents and heat treatment temperature of TC4 alloy

随着温度的升高， β 晶粒长大和球化， β 相含量增加，而 α 含量减少，拉长 α 逐渐缩短，到相变点 α 晶粒消失。 α 和 β 含量和温度的关系不是正比例关系，而是在靠近相变点时有快速变化。在平衡态 α 和 β 相比例是一定的。晶粒的大小也基本固定。图 9 说明了这个问题，它表示钛合金的晶粒大小是由合金成分决定的。 α 和 β 相含量相等时晶粒最细小。实际上，热加工达不到平衡态，晶粒大小是由加工方法和加工过程决定的，热处理的影响较小。

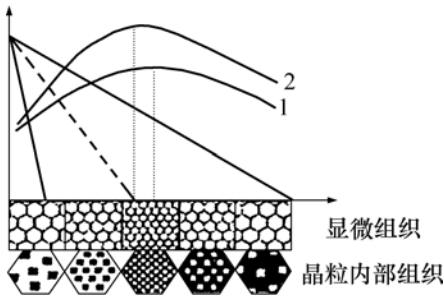


图 9 钛合金组织和力学性能与 β 相含量的关系

Fig.9 Relationship between microstructure, mechanical properties and β phase content of TC4 alloy (annealed, 2 STA)

3.2 变形量的影响

在一定的变形温度和变形速率条件下，变形量与 β

晶粒尺寸 D 呈线性关系,可用式(1)表示:

$$D_r = kD_p(1-\varepsilon) \quad (1)$$

式中: D_r 为再结晶后的晶粒尺寸; D_p 为变形前的晶粒尺寸; k 为与温度有关的比例系数; ε 为真实应变。

式(1)表明加大变形可以细化晶粒。方案3采用大加工量进行热加工,在轧制中,晶粒形核和长大同时进行,如果轧后或两道次之间停留时间长,则再结晶晶粒长大,形成粗大的晶粒;反之,如果轧后或两道次之间停留时间短,来不及发生再结晶,则两道次的变形量有累加作用,上一道次的晶粒没来得及长大,接着下一道次形核开始了,于是得到细小的组织。纵向组织在轧制变形中,晶粒被拉长,小的加工率纵向组织有拉长的 α 相。大的加工率及短的轧制转移时间,纵向晶粒小,而且被拉长、拉断从而得到细小的纵向组织。

3.3 坯料预热处理的影响

坯料经预热处理后在合金内部形成晶粒畸变,从而形成大量核源,在以后的变形中成为再结晶形核基础。坯料经预热处理后快速冷却可以提高钛合金过冷度,增加结晶核心。快冷为随后的热处理加工变形相变提供了驱动力(缺陷能),为马氏体向 α 相转变提供了大量的结晶核心,从而改变了 β 相的析出机制,由空冷

条件下感生形核机制变为独立形核方式。所以,细化了晶粒。

4 结论

- 1) 高热处理温度可以在一定程度上细化纵向晶粒。
- 2) 大的加工率可以细化晶粒,可以得到细的纵向高倍组织的棒材,满足用户的要求。
- 3) 坯料预热处理和合理轧制工艺可以得到细的纵向高倍组织棒材,满足用户要求。

REFERENCES

- [1] 张旺峰. 热变形参数对TA15再结晶晶粒尺寸的影响[J]. 金属学报, 2002, 38(s1): 159-163.
ZHANG Wang-feng. Effect of recrystal grain size for TA15 alloy's hot deformation data[J]. Metal Journal, 2002, 38(s1): 159-163.
- [2] 张强. 塑性加工变形物理场[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1990: 215-268.
ZHANG Qiang. Physical field of mould process deformation[M]. Shenyang: Northeastern University Press, 1990: 215-268.

(编辑 陈卫萍)