

拉拔工艺对 TA2 管材织构及性能的影响

邢 健^{1,2}, 陈 昊¹, 杨英丽², 郭荻子²

(1. 西安诺博尔稀贵金属材料有限公司, 陕西 西安 710065)

(2. 西北有色金属研究院, 陕西 西安 710016)

摘 要: 本实验成功将拉拔工艺应用于 TA2 管材的制备, 同时应用不同锥角组合对 TA2 管材进行拉拔, 对比了不同锥角组合对 TA2 管材的显微组织及再结晶织构的影响。结果表明: 退火态拉拔管材表现为径向织构, 且部分晶粒的(0002)基面法相同管材的宏观轴向(AD)平行; 微观的晶粒取向对管材宏观的力学性能有重要影响。单道次拉拔工艺制备的 TA2 管材其晶粒取向同轧制工艺制备的 TA2 管材存在明显差异。

关键词: TA2 管材; 拉拔; 织构; 拉伸性能

中图分类号: TG146.2+3

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2015)02-0485-04

TA2 属 α 钛合金, 为密排六方(hcp)晶体结构, 具有很高的比强度、高温性能及断裂韧性, 被作为工程材料广泛应用于航空工业^[1,2]。目前, 主要应用轧制工艺制备 TA2 成品管材, 拉拔工艺则应用于工业纯钛(CP Ti)棒材的制备。拉拔工艺通过和 ECAP 及锻造等超塑性(SPD)工艺的结合可以提高纯钛的屈服强度, 使得成品棒材具有明显的径向织构^[1,3]。本实验成功将拉拔工艺应用于 TA2 成品管材的制备, 为单道次拉拔。

金属加工过程中应力状态对晶体位相的分布有重要影响, 应力状态的差异导致金属基体内部产生了不同的形变织构。织构和组织对管材的宏观力学性能有重要的影响^[4,5]。拉拔时金属受到两向压应力、一向拉应力作用, 不同于轧制工艺的三向压应力^[6], 因此会造成材料新的晶体取向。

基于前一阶段对 TA2 管材织构的研究^[7], 本实验以单道次拉拔管材退火态试样为研究对象, 通过力学性能测试以及 X 射线衍射技术(XRD)对管材的力学性能及 RD-TD、AD-TD、AD-RD 3 个宏观面晶粒位相进行分析, 阐述应力状态对管材宏观织构的影响。以达到对未来高性能钛合金管材的试制, 从而充分发挥纯钛管系列管材的潜能, 并对优化纯钛管的制备工艺提供技术支持。

1 实 验

实验所用原始管坯为 $\Phi 15 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$ 的退火态 TA2 管材, 后经单道次拉拔制备出 $\Phi 12 \text{ mm} \times 0.95 \text{ mm}$

成品。成品管材经除油、酸洗后, 进行在 650 °C 保温 150 min 的真空退火。由于拉拔工艺的应力状态不利于密排六方(hcp)晶体结构的纯钛进行塑形变形, 故管材制备过程采用单道次拉拔, 并且管材的加工变形量 ε 仅为 25.0%, 从而防止管材在制备过程中发生断裂。

应用不同锥角组合: 外模锥角分别取 $(\alpha-1)^\circ$ 、 $(\alpha)^\circ$ 、 $(\alpha+1)^\circ$; 内模锥角取 $(\beta)^\circ$; 制备 TA2 管材。对制备的 TA2 管材加工态及退火态试样进行组织、性能测试; 并对退火态试样进行织构分析。采用 OLYMPUS PMG 光学显微镜进行金相组织观察; 采用 INSTRON 1185 实验机进行室温力学性能测试。运用 D8-ADVANCED 型 X 射线衍射仪测量管材 RD-TD 投影面, AD-TD 投影面和 AD-RD 投影面的(0002)、 $(1\bar{1}00)$ 和 $(10\bar{1}1)$ 的不完整极图。

2 结果与讨论

2.1 显微组织

2.1.1 横断面的金相组织

图1为不同锥角组合制备的TA2管材其加工态和退火态试样RD-TD面的金相组织照片。由图可得: 不同锥角组合制备的TA2管材, 其加工态试样组织均未见明显的加工流线, 晶粒在RD方向表现为拉伸变形, 在TD方向则表现为压缩变形; 由于管材的加工变形量 $\varepsilon=25.0\%$, 因此晶粒晶界清晰, 同时晶粒基体内部存在条纹状结构, 可能为孪晶变形, 见图1a、1b、1c。图1g为原始管坯RD-TD面的金相组织, 由图可得其组织

收稿日期: 2014-02-10

基金项目: 国家“973”计划资助项目(2011CB012805)

作者简介: 邢 健, 男, 1986年生, 硕士, 西安诺博尔稀贵金属材料有限公司, 陕西 西安 710065, E-mail: xunquiyiyiandy@163.com

为均匀等轴晶，晶粒度均匀，晶粒尺寸大致为 $50\ \mu\text{m}$ 。图1d、1e、1f分别为不同锥角组合拉拔工艺制备管材的退火态组织，其组织亦为等轴晶，但晶粒度存在略微差异，拉拔管材的退火态组织其晶粒尺寸小于原始管材，大致为 $10\sim 50\ \mu\text{m}$ 。

2.1.2 纵断面的金相组织

图 2 为不同锥角组合制备的 TA2 管材加工态和退火态试样 AD-RD 面的金相组织照片。不同锥角组合制备的 TA2 管材加工态试样和退火态试样的金相组织均未见明显差异。由于加工态管材的变形量 ϵ 为 25.0%，因此晶粒晶界清晰，晶粒基体内部存在条纹状结构，可能为孪晶变形；同时晶粒在 AD 方向表现为拉伸变形，在 RD 方向表现为压缩变形，晶粒沿管材的拉拔方向呈现一定的加工流线，由于变形量不大，加工流线并不明显，见图 2a、2b、2c。退火态组织呈现为等轴晶，且比原始管材的晶粒尺寸小，大致为 $10\sim 50\ \mu\text{m}$ ，见图 2d、2e、2f。

管材加工态试样 RD-TD 面的显微组织和 AD-RD 面相比，晶粒度无明显差异，晶粒的延伸方向是由管材在加工过程中的应力状态决定的，游动芯头拉拔工艺制备 TA2 管材时，管材在 AD 方向受到拉应力，在 RD、TD 方向受到压应力。因此在 AD-RD 面，晶粒在 AD 方向表现为拉伸变形，在 RD 方向表现为压缩变形；在 RD-TD 面，晶粒在 TD 表现为拉伸变形，在 RD 方向表现为压缩变形，说明 RD 方向的压应力大于 TD 方向的压应力。

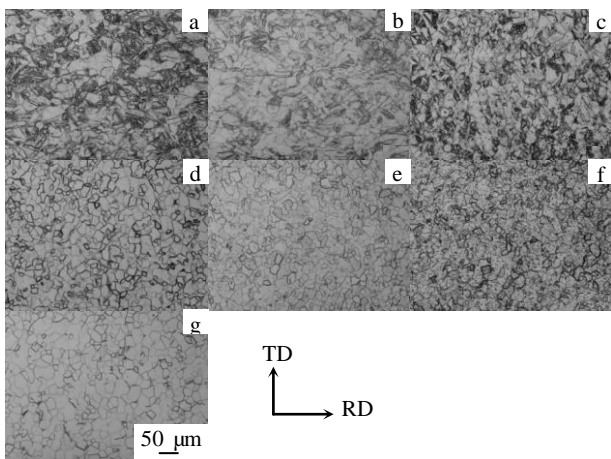


图 1 不同锥角组合拉拔管材的横断面显微组织

Fig.1 Comparison of microstructures of TA2 pipes in transversal plane produced in three different angles: (a) as-worked sample in angle $(\alpha-1)^\circ$; (b) as-worked sample in angle $(\alpha)^\circ$; (c) as-worked sample in angle $(\alpha+1)^\circ$; (d) vacuum annealing sample in angle $(\alpha-1)^\circ$; (e) vacuum annealing sample in angle $(\alpha)^\circ$; (f) vacuum annealing sample in angle $(\alpha+1)^\circ$; and (g) original pipe

sample in angle $(\alpha)^\circ$; (f) vacuum annealing sample in angle $(\alpha+1)^\circ$; and (g) original pipe

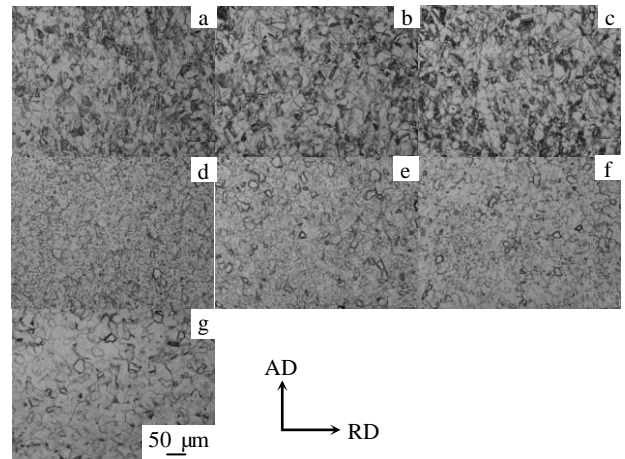


图 2 不同锥角组合拉拔管材的纵断面显微组织

Fig.2 Comparison of microstructures of TA2 pipes in longitudinal plane produced in three different angles: (a) as-worked sample in angle $(\alpha-1)^\circ$; (b) as-worked sample in angle $(\alpha)^\circ$; (c) as-worked sample in angle $(\alpha+1)^\circ$; (d) vacuum annealing sample in angle $(\alpha-1)^\circ$; (e) vacuum annealing sample in angle $(\alpha)^\circ$; (f) vacuum annealing sample in angle $(\alpha+1)^\circ$; and (g) original pipe

2.2 管材的宏观组织

图 3 为不同外模锥角 $(\alpha-1)^\circ$ 、 $(\alpha)^\circ$ 、 $(\alpha+1)^\circ$ ；相同内模锥角 $(\beta)^\circ$ 的拉拔管材退火态试样在 RD-TD、AD-TD 及 AD-RD 投影面的(0002)不完整极图。通过 RD-TD 投影面的极图可知，部分晶体的(0002)法相和 AD 方向平行。AD-TD 投影面的(0002)不完整极图表现为明显的径向织构；AD-RD 投影面的(0002)不完整极图表现为:晶体位相为基面法线在 AD-TD 面内相对 TD 轴向 AD 方向偏转了 35° 。不同锥角拉拔管材各投影面(0002)不完整极图的主要差异表现为衍射强度的差异，织构类型并无明显差异。

因此本工艺制备的拉拔管材的晶粒取向和前一阶段轧制管材相比有很大区别。单道次拉拔管材的晶粒取向主要为 2 种取向：(1) (0002) 基面法线和 AD 方向平行；(2) (0002) 基面法线和 RD 方向平行，表现为径向织构。

轧制管材的晶粒取向亦为 2 种^[7]：(1) (0002) 基面法线和 RD 方向平行，表现为径向织构；(2) (0002) 基面法线和 TD 方向平行，表现为周向织构。

2.3 管材的力学性能

应用不同锥角组合制备 TA2 管材，加工态试样和

退火态试样的室温力学性能分别见图 4、图 5。加工态试样的室温力学性能表明：当外模锥角为(α)°时，加工

态管材试样的力学性能最佳，比其他 2 组锥角组合制备的管材高出 20~30 MPa；延伸率为 16%和其他 2 组锥角组合制备的管材相比差异不大。退火态试样的室

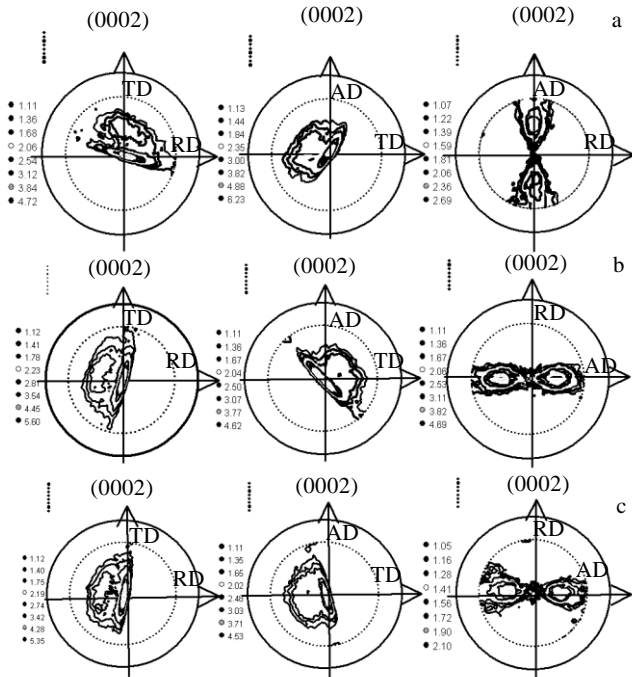


图 3 退火态不同锥角拉拔管材 RD-TD、AD-TD 和 AD-RD 投影面的(0002)不完整极图

Fig.3 (0002) incomplete pole figures on RD-TD plane, AD-TD and AD-RD planes of drawing processing annealing TA2 pipe in different pyramidal angles of outer moulds: (a) annealing pipe samples in angle ($\alpha-1$)°; (b) annealing pipe samples in angle (α)°; and (c) annealing pipe samples in angle ($\alpha+1$)°

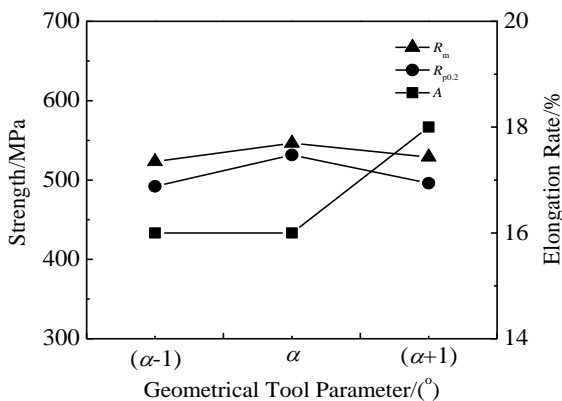


图 4 不同锥角加工态试样的力学性能

Fig.4 Mechanical properties of as-worked samples in different angle combinations

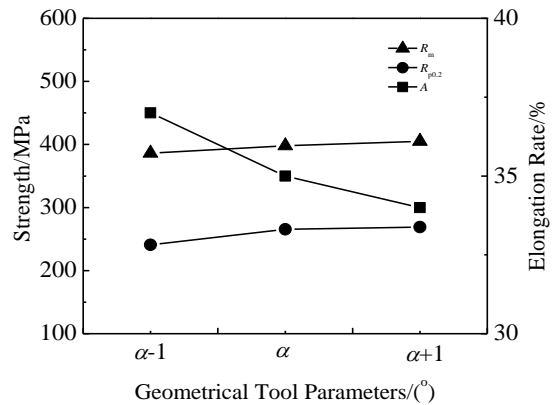


图 5 不同锥角退火态试样的力学性能

Fig.5 Mechanical properties of annealing samples in different angle combinations

温力学性能相对加工态试样下降了约 150 MPa，且屈服比相对加工态试样大大减小，更利于塑性加工。当外模锥角为($\alpha+1$)°时，退火态管材试样的力学性能最佳；延伸率为 33%相对于加工态大幅度提高。

不同锥角组合拉拔的 TA2 管材退火态试样的力学性能是由其具有的 2 种晶粒取向共同决定的。通常径向织构可以提高管材的屈服强度和疲劳强度^[8,9]。外模锥角为($\alpha-1$)°时，制备的 TA2 管材径向织构最为显著，表现为它的 AD-TD 投影面的 (0002) 不完整极图的衍射强度最高，但是其力学性能却最低，可见 (0002) 基面法线和 AD 方向平行的晶粒取向对 TA2 管材的力学性能具有一定的减弱作用。由于衍射强度相比织构类型对管材的强度影响很小，所以不同锥角组合 TA2 管材的力学性能及延伸率均无明显差别。

3 结 论

1) 不同锥角组合制备的 TA2 管材，显微组织并无明显差异，同一管材 RD-TD 面、AD-TD 面的显微组织也无明显差异。

2) 单道次拉拔管材的晶粒取向为 2 个方向：(a) (0002) 基面法线和 AD 方向平行；(b) (0002) 基面法线和 RD 方向平行，表现为径向织构。相比之前轧制管材，(0002) 基面法线和管材 AD 方向平行为新的晶粒取向。

- [1] Sabirov I, Perez-Prado M T. *Scripta Materialia*[J], 2011, 64(1): 69
- [2] Gong Jicheng, Wilkinson Angus J. *Acta Materialia*[J], 2009, 57: 5693
- [3] Boyer R R. *Materials Science and Engineering A*[J], 1996, 213: 103
- [4] Bozzolo N, Dewobroto N. *Materials Science and Engineering*[J], 2005, 397: 346
- [5] Li Xingrong(李兴荣), Zhang Hui(张 晖). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2012, 41(7): 1243
- [6] Wang Jizhou(王继周), Li Jixia(李晋霞), Tai Zhenzhong(郇振中). *Journal of Plasticity Engineering*(塑性工程学报)[J], 2001, 8(4): 40
- [7] Xing Jian(邢 健), Ju Jianhui(巨建辉), Yang Yingli(杨英丽) *et al. Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程)[J], 2013, 42(8): 1617
- [8] Peng Qian(彭 倩), Shen Baoluo(沈保罗). *Chinese Journal of Rare Metals*(稀有金属)[J], 2005, 29(6): 903
- [9] Yang Lei. *Research of TA18 Titanium Pipes* [D]. Beijing: Central Steel and Iron Research Institute, 2010

Effect of Drawing Processing on Mechanical Properties and Textures of TA2 Pipes

Xing Jian^{1,2}, Chen Hao¹, Yang Yingli², Guo Dizi²

(1. Xi'an Noble Rare Metal Materials CO., LTD, Xi'an 710065, China)

(2. Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

Abstract: Commercially pure titanium (TA2) pipes were prepared by drawing processing with different angles. The effect of the angles on the microstructures and mechanical properties of the titanium pipes were investigated. Meanwhile the type of textures was researched by X-ray diffraction. The results show that the annealed samples which are drawn in different angles possess two different grain orientations, (0002) basal plane parallel to the transversal section and *c* axis of the hexagonal close-packed parallel to axial direction of the pipe. Both crystal orientations influence the mechanical properties of the drawing pipes significantly. There are obvious differences in the type of textures between TA2 pipes by the drawing method only and the rolling method.

Key words: TA2 pipes; drawing processing; textures; mechanical properties

Corresponding author: Xing Jian, Master, Xi'an Noble Rare Metal Materials CO., LTD, Xi'an 710065, P. R. China, E-mail: xunquiyiyandy@163.com