

Ti-55 钛合金超塑性板材的显微组织与力学性能

王娟华¹, 王红武¹, 陈志勇², 陈永辉¹, 王 新¹, 张 磊¹, 贺 军¹, 田 丽¹

(1. 宝鸡钛业股份有限公司, 宝鸡 721014; 2. 中国科学院 金属研究所, 沈阳 110016)

摘 要: 将二次真空自耗熔炼的 Ti-55 钛合金铸锭轧制成 1.2 mm 厚的薄板, 研究 Ti-55 钛合金超塑性板材的显微组织与力学性能。结果表明, 显微组织均匀, 晶粒极细的 Ti-55 钛合金超塑性板材, 具有良好的室温拉伸性能和超塑性。超塑性拉伸试验表明, 在一定的变形温度范围(880~920 ℃)与变形速率($1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)下, Ti-55 钛合金板材超塑性伸长率可达到 700%以上。

关键词: Ti-55 钛合金; 超塑性; 显微组织; 力学性能

中图分类号: TG 146.2⁺3

文献标志码: A

Microstructure and properties of superplastic plate of Ti-55 alloy

WANG Juan-hua¹, WANG Hong-wu¹, CHEN Zhi-yong², CHEN Yong-hui¹, WANG Xin¹, ZHANG Lei¹, HE Jun¹, TIAN Li¹

(1. Baoji Titanium Industry Co., Ltd., Baoji 721014, China;

2. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract: The 1.2 mm thick plates of Ti-55 alloy were rolled from ingots melted by twice vacuum arc furnaces. Microstructure and properties of superplastic plate of Ti-55 alloy were studied. The results show that very fine crystalline grain and good room temperature tensile property have obtained through improved rolling processing. With this processing, a total elongation above 700% could be obtained at 880–920 ℃ at strain rate of $1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$.

Key words: Ti-55 alloy; superplasticity; microstructure; mechanical property

超塑性一般是指拉伸条件下, 表现出异常高的伸长率而不发生缩颈和断裂的现象。通常用材料的伸长率来衡量, 以达到或超过一定的伸长率称为超塑性。Ti-55 钛合金是我国自行研制的最高工作温度在 550 ℃ 的高温钛合金, 随着工程化应用的需求, 需研制该合金的超塑性板材, 以满足其在航空航天领域超塑性成型方面的应用。国内外关于钛合金超塑性的研究, 多集中于其超塑性变形行为的研究^[1-3], 关于超塑性板材轧制工艺及其相关力学性能的报道很少, 本研究的目的是通过优化 Ti-55 钛合金板材的轧制工艺, 期望改善最终板材的显微组织, 在保证一定的瞬时拉伸强度的基础上, 得到超塑性性能良好的板材。

1 实验

1.1 实验材料

本实验原料为 Ti-55 钛合金, 其名义成分(质量分数, %)如下: Ti-(5.2~5.5)Al, (3.0~3.5)Sn, (2.8~3.0)Zr, (1.0~1.5)Mo, (0.4)Ta, (0.4)Nb, (0.30)Si。Ti-55 钛合金铸锭由二次真空自耗熔炼而成, 并在辊径为 1 200 mm 的四辊可逆式轧机上进行轧制, 最终得到厚度为 1.2 mm 的成品板材。

1.2 超塑性板材的轧制

超塑性材料要求具有均匀、细小的等轴晶组织, 晶粒大小一般不超过 10 μm 或更小。由于 Ti-55 钛合金是一种高强度的近 α 型钛合金, 根据此类钛合金的加工特点, 选择在 β 相变点以上开坯, 以降低变形抗力, 防止轧制时板坯开裂。轧制在两相区进行, 板材轧制后, 用于拉伸试验的板材在 600~880 ℃ 之间进行退火, 退火后进行组织性能测试; 用于超塑性拉伸的板材以轧制态进行实验。

2 结果与讨论

2.1 板材的显微组织

轧制态板材的显微组织如图 1 所示。由图 1 可以看出,在平行于轧制方向和垂直于轧制方向上,板材的显微组织差别不大,均由细小的等轴 α 晶粒组成,晶粒尺寸均控制 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下。板材轧制过程中,当从 β 相区淬火后,由于冷速很快,对于近 α 型钛合金,会

生成针状的 α' 相马氏体板条,相邻的马氏体板条之间没有固定的取向关系,呈现出交叉排列的形貌^[4]。由于 α' 马氏体相在较低的轧制温度下十分稳定,不易分解,这样在经过轧制后,细长的马氏体板条得到充分破碎,得到晶粒细小的组织。不同退火温度后板材的显微组织如图 2 所示。退火温度在 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时(见图 2(a)和(b)),板材显微组织中马氏体组织较稳定,但存在少量分解;随着退火温度的升高,马氏体组织大量分解为 β 相和 α 相,退火温度在 $880\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时, α 相晶粒的尺寸开始发生明显的长大(见图 2(c)和(d))。

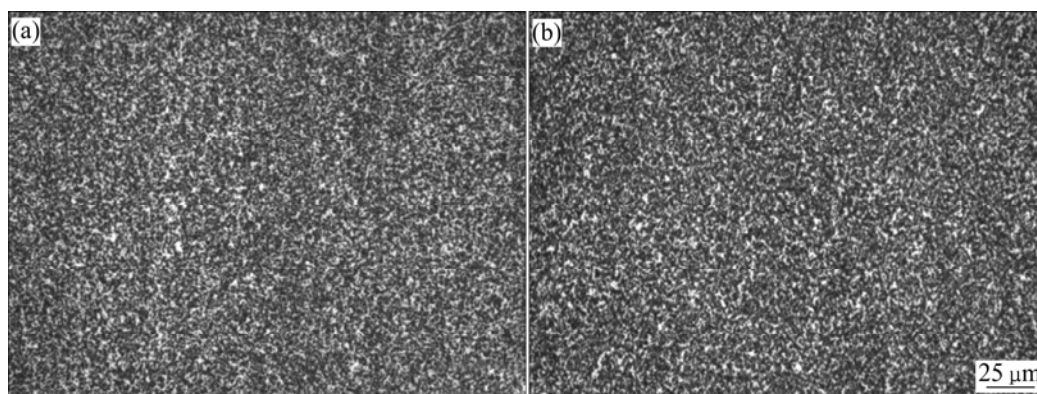


图 1 轧制态板材的显微组织

Fig.1 Microstructures of as-rolled plates: (a) Vertical to rolling direction; (b) Parallel to rolling direction

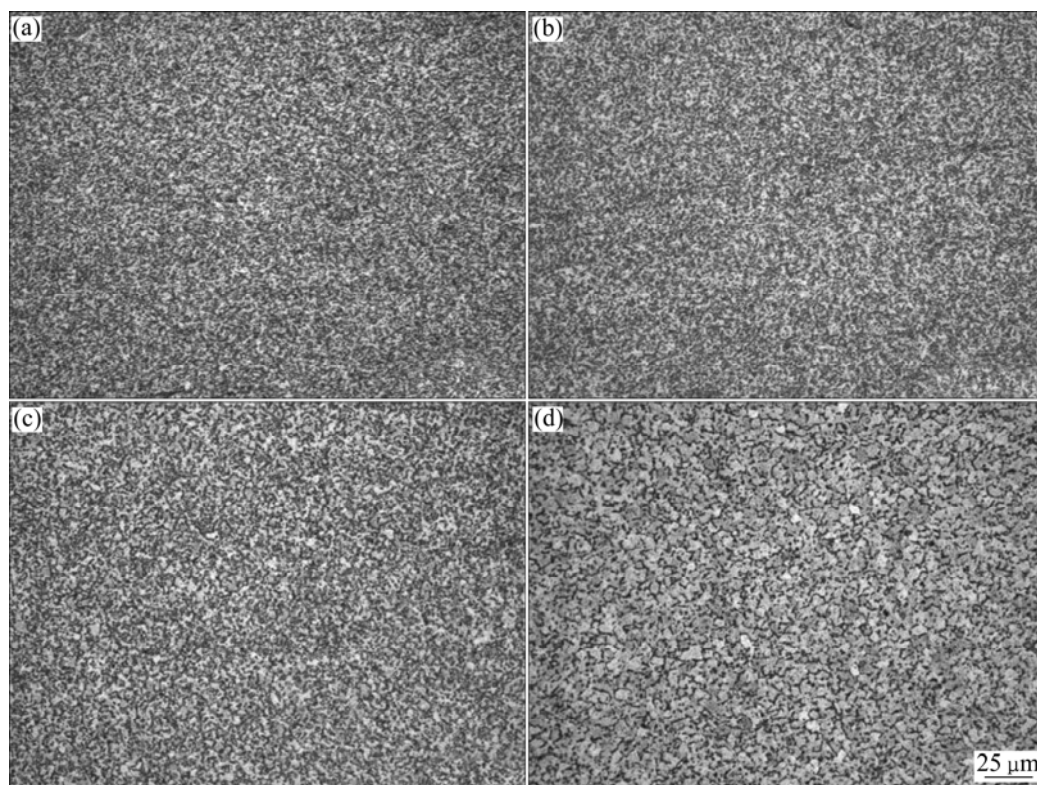


图 2 不同退火温度下板材的显微组织

Fig.2 Microstructures of Ti-55 plates at different heat treatment temperatures: (a) $600\text{ }^{\circ}\text{C}$; (b) $800\text{ }^{\circ}\text{C}$; (c) $880\text{ }^{\circ}\text{C}$; (d) $900\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.2 超塑性板材的力学性能

2.2.1 不同退火温度下板材的室温拉伸性能

板材的室温拉伸性能见表 1，可以看出，随退火温度的升高，板材的拉伸强度下降，拉伸塑性升高。同轧态的板材相比，在 600 ℃退火处理后，板材的强度略微升高，但拉伸塑性有一定的下降，这是由于在此温度退火时，马氏体组织很少分解，但组织中会析出 α_2 等脆性相。而随着退火温度的升高，强度高但塑性差的马氏体相分解为 β 相和 α 相，导致拉伸强度下降，拉伸塑性升高。

表 1 板材的室温拉伸性能

Table 1 Room temperature tensile properties of Ti-55 alloy plates

Treatment	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%
As rolled	1 090	1 060	10.0
	1 100	1 070	8.0
600 ℃ 2 h, AC	1 120	1 090	7.3
	1 130	1 110	7.3
750 ℃ 1 h, AC	1 020	1 000	12.0
	1 010	995	14.0
800 ℃ 30 min, AC	990	970	12.5
	1 000	980	10.5
880 ℃ 30 min, AC	955	875	14.5
	965	885	15.5

Tensile direction: TD

2.2.2 板材的超塑性性能

本研究所采用的超塑性板材轧制工艺中，轧制时成品变形量可达到 65%以上，在两相区进行充分的热变形可有效改善变形的不均匀性，保证成品板材中马氏体板条充分破碎，得到细小均匀的等轴组织(见图 1)，从而提高板材的超塑性性能。

板材的超塑性拉伸试验数据如表 2 所列。可以看出，当拉伸应变速率为 $1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ，拉伸试验温度在 880~920 ℃之间变化时，Ti-55 钛合金的伸长率均可超过 700%，超塑性成型的最佳温度在 910 ℃左右，可获得最高 1 120%的超塑性。

表 2 板材的超塑性性能

Table 2 Superplastic properties of Ti-55 plate

Temperature/℃	Elongation/%
920	800
	760
	740
910	1 120
	900
900	820
890	700
880	880

3 结论

1) 通过调整加工和热处理制度，可以得到晶粒细小，组织均匀的 Ti-55 钛合金超塑性板材，该板材具有良好的室温拉伸强度和塑性。

2) 当拉伸应变速率为 $1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ，拉伸试验温度在 880~920 ℃之间变化时，Ti-55 钛合金板材的超塑性性能均可超过 700%。

REFERENCES

[1] WISBEY A, KEARNS M W, PARTRIDGE P G. Superplastic deformation in Ti alloy IMI 834 and alpha-2 titanium aluminide[J]. Mater Lett, 1994, 21: 31-39.

[2] WISBEY A, KEARNS M W, PARTRIDGE P G, BOWEN A W. Superplastic deformation and postformed mechanical properties of high temperature titanium alloy IMI 834[J]. Mater Sci Tech, 1993, 9(11): 987-993.

[3] SALISHCHEV G A, GALEYEV R M, VALIAKHMETOV O R, et al. Development of Ti-6Al-4V sheet with low temperature superplastic properties[J]. J Mater Proc Tech, 2001, 116: 265-268.

[4] 陈志勇, 王清江, 刘建荣, 等. 焊后热处理对 Ti-60 钛合金电子束焊接接头显微组织及高温持久性能的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(s3): 64-67.

CHEN Zhi-yong, WANG Qing-jiang, LIU Jian-rong, et al. Effect of post-weld heat treatment on microstructure and creep rupture properties of EBW weldment of high temperature titanium alloy Ti-60[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(s3): 64-67.

(编辑 何学锋)