

Ti-22Al-24Nb-1Mo O 相合金箔材的加工与性能

卢 斌, 王 永, 杨 锐

(中国科学院 金属研究所, 沈阳 110016)

摘 要: 介绍了一种采用 β 相区开坯、 α_2+B2 相区热轧、利用四辊可逆冷轧机冷轧 Ti-22Al-24Nb-1Mo O 相合金 0.1 mm 厚箔材的工艺过程。研究轧后退火和固溶处理对合金箔材组织和拉伸性能的影响。结果表明: 退火后合金组织由等轴 O 相+ $B2$ 相组成, 其中 O 相(体积分数)约 50%; 固溶后合金组织由少量等轴 O/α_2 相+ $B2$ 相组成; 经两种热处理工艺处理后, 合金均能获得良好的室温拉伸性能。

关键词: O 相合金; Ti-22Al-24Nb-1Mo 箔材; 冷轧; 热处理

中图分类号: TG 166.5

文献标志码: A

Processing and properties of Ti-22Al-24Nb-1Mo orthorhombic alloy foil

LU Bin, WANG Yong, YANG Rui

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

Abstract: A technology of rolling of Ti-22Al-24Nb-1Mo orthorhombic alloy foil was introduced, which is blooming in β field, rolling in α_2+B2 field and cold rolling by 4-high reverse cold roll mill. The effects of heat treatments on the microstructure and tensile mechanical properties of the orthorhombic alloy foil were also discussed. The results show that the equiaxed O phase and $B2$ phase microstructures with 50% (volume fraction) O phase are obtained by annealing treatment; a little equiaxed O/α_2 phase and $B2$ phase microstructures form by solution treatment. The room temperature tensile properties of foil by annealing or solution treatment are well.

Key words: orthorhombic alloy; Ti-22Al-24Nb-1Mo; foil; cold roll; heat treatment

O 相合金是 20 世纪 90 年代初期发展起来的一种新型 TiAl 系金属间化合物, 具有高强、高韧、高蠕变抗力、低缺口敏感以及抗氧化和无磁性等良好的综合性能。 O 相合金可以长时间工作在 650~750 , 短时间应用于 800~900 , 是用于制造飞行器发动机热端部件的理想材料之一^[1]。此外, 由于 O 相合金与 SiC 纤维的相容性较好, 且其室温塑性远超过 3%, 因而其优于其他钛合金, 是理想的基体材料, 成为目前开发高温钛基复合材料(TMCs)的最佳选择^[2-3]。加工 0.1 mm 厚箔材则可促进其在高温钛基复合材料方面的应用^[4], 所以, 开发 O 相合金 0.1 mm 厚箔材已成为极其重要的课题。

本文作者介绍了一种加工 0.1 mm 厚 Ti-22Al-24Nb-1Mo O 相合金箔材的工艺, 并讨论了热处理对

箔材组织和拉伸性能的影响。

1 实验

试验用材料采用真空自耗电弧炉熔炼, 合金锭($d280$ mm)的化学成分(质量分数,%)为: 11.4 Al、40.7 Nb、1.7 Mo、0.1 O、0.03 N、0.002 H, 余量 Ti。铸锭经水压机开坯锻造后, 在 $B2/\beta$ 相区锻造出 40 mm 厚板坯, 经 α_2+B2 两相区热轧成厚 1.5 mm 的板材, 再经 $d650$ mm $\times$ 550 mm 四辊可逆冷轧机冷轧成厚 0.1 mm 的箔材, 最大宽展为 380 mm, 其成品宏观照片如图 1 所示。成品箔材沿轧向取样, 经真空热处理后, 在 AG-10T 电子拉伸试验机上测试拉伸性能, 在

JSM-5600 型扫描电镜上观察合金微观组织形貌。

2 结果与分析

2.1 加工性能

热轧时，与纯钛和 Ti-6Al-4V 合金相比^[5-7]，Ti-22Al-24Nb-1Mo 合金的变形抗力较大，抵抗热裂纹形成的能力较弱，在变形过程中道次变形量不易太大，不应超过 50%。经 α_2+B2 相区热加工后，该合金组织由等轴 α_2 相+B2 相组成，B2 相含量高，这在一定程度上保证其后续的冷轧加工性能^[8-9]。但由于该合金中的 Al 含量较高，且含有降低室温塑性的 Mo 元素，使合金的强度偏高而塑性较低^[10]，降低合金的冷加工性能，其热轧板的典型力学性能如表 1 所示，其中 σ_s 为屈服强度， σ_b 为抗拉强度， δ 为伸长率。所以，在冷加工时，与 $(\alpha+\beta)/\beta$ 合金相比，该合金的变形抗力较大，变形能力弱，道次变形量也不易过大，应小于 15%。

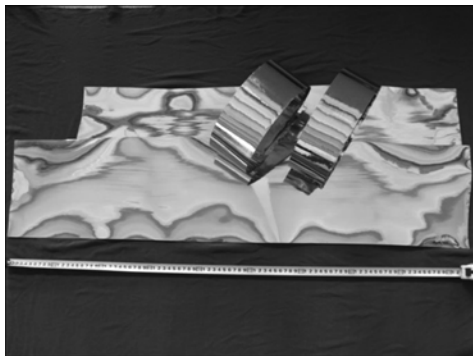


图 1 0.1 mm 厚 Ti-22Al-24Nb-1Mo 箔材宏观照片
Fig.1 Macroscopical photograph of Ti-22Al-24Nb-1Mo foil with thickness of 0.1 mm

表 1 不同热处理工艺下 1.5 mm 厚 Ti-22Al-24Nb-1Mo 热轧板的室温拉伸性能

Table 1 Room temperature tensile properties of Ti-22Al-24Nb-1Mo hot rolled plate with thickness of 1.5 mm by different heat treatments

Heat treatment condition	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ /%
$O+B2$ annealing	1 060	1 190	5.0
α_2+B2 annealing	1 080	1 090	8.0

由以上分析可以看出，由于该合金的冷变形能力较差，实际生产过程中需增加加工道次和中间退火次数，因而，冷轧中的中间退火温度的选择尤为重要^[4]。当退火温度选择在 α_2+B2 相区时，大气退火存在氧化

的问题，真空退火存在温度和冷速的问题^[11]，因而不宜采用。而退火温度选择在 $O+B2$ 相区时，同样存在着冷速的问题。退火过程中 B2 相中会析出 O 相，使强度升高，变形抗力增大，塑性降低变形能力下降，也不宜采用。本文作者采用了一种特殊的热处理方法巧妙地解决了这个问题。

2.2 热处理、显微组织与拉伸性能

一般板材产品分为退火和固溶处理产品两种。退火特别是再结晶退火可以使 O 相发生再结晶而球化，最大程度地消除冷加工带来的内应力，从而提高合金的塑性，为后续冷加工或构件成形提供冷加工能力。图 2(a)所示为合金 0.1 mm 箔材经退火处理后的显微组织。从图 2(a)中可以看出，合金组织由等轴 O 相+B2 相组成，其中 O 相含量约为 50%。大部分的 O 相已经发生了再结晶，只有个别还呈拉长的条状。这可能是由于合金的变形能力低，冷加工时道次累积变形量还不足以存储足够的变形能，使其在退火过程中发生完全再结晶。固溶处理的处理温度一般较高，冷速较大，可以在合金组织中保留更多塑性较好的 B2 相，从而提高合金的塑性。图 2(b)所示为合金箔材经固溶处理后的显微组织。由图 2(b)可以看出，经固溶处理后，

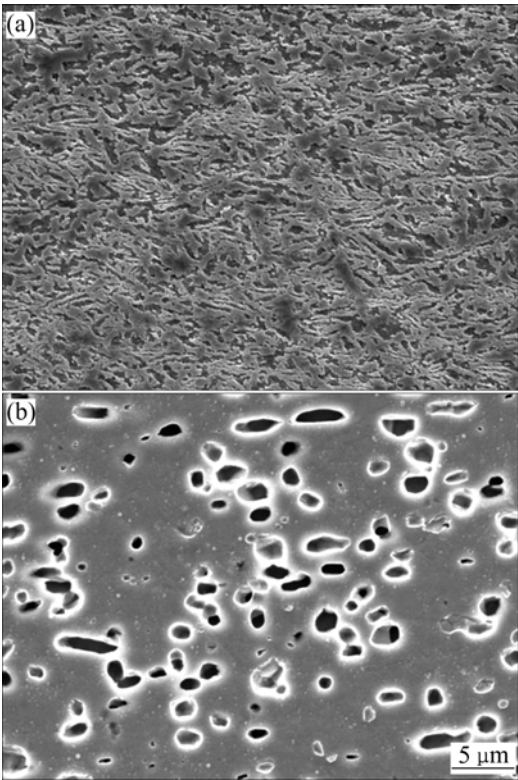


图 2 不同热处理制度的 Ti-22Al-24Nb-1Mo 箔材显微组织
Fig.2 Microstructures of Ti-22Al-24Nb-1Mo foil by different heat treatments: (a) Anneal treatment; (b) Solution treatment

合金箔材组织由等轴 O/α_2 相+B2 相组成(黑色为 α_2 相, 灰色为 O 相, 基体为 B2 相), 其中, O/α_2 相含量较少, 且均已等轴化。

表 2 所列不同热处理工艺下 Ti-22Al-24Nb-1Mo 合金箔材的室温拉伸性能。由表 2 可知, 冷轧态箔材的强度最高, 塑性最差, 这是未消除内应力造成的。经再结晶退火后, 合金强度降低, 塑性明显提高, 综合性能良好。经固溶处理后, 与退火态相比, 合金强度提高, 塑性未明显降低。符合退火和固溶处理的一般规律。这说明以上两种热处理工艺均能获得良好的室温拉伸性能。但对于高温拉伸性能和其他一些性能, 如弯曲、杯突等还需进一步研究。

表 2 不同热处理工艺下 0.1 mm 厚 Ti-22Al-24Nb-1Mo 箔材的室温拉伸性能

Table 2 Room temperature tensile properties of Ti-22Al-24Nb-1Mo foil with thickness of 0.1 mm under different conditions

Heat treatment condition	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ /%
Cold rolling	1 228	1 316	1.5
Annealing	880	1 060	15.0
Solution	960	1 130	13.5

3 结论

- 1) 虽然 Ti_2AlNb 基 Ti-22Al-24Nb-1Mo 合金变形抗力较大, 变形能力较差, 但通过调整变形工艺和退火制度可以加工出较大宽展的 0.1 mm 箔材。
- 2) Ti-22Al-24Nb-1Mo 合金箔材经退火或固溶处理后, 合金组织不同, 退火后合金组织由约 50%等轴 O 相+B2 相组成, 固溶后合金组织由少量等轴 O/α_2 相+B2 相组成, 合金的室温拉伸性能均良好。

REFERENCES

[1] PENG Ji-hua, MAO Yong, LI Shi-qiong, SUN Xun-fang. Microstructure controlling by heat treatment and complex

processing for Ti_2AlNb based alloys [J]. Material Science and Engineering A, 2001, 299(1/2): 75–80.

[2] CHRISTOPH L, MANFRED P. Titanium and titanium alloys [M]. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 2003: 59–62.

[3] 曾卫东, 周义刚, PETERS P W M. 显微增强钛基复合材料界面剪切强度的 FEM 分析[J]. 稀有金属材料与工程, 2002, 31(6): 445–448.

ZENG Wei-dong, ZHOU Yi-gang, PETERS P W M. FEM modeling of interfacial shear strength in SiC-fibre reinforced titanium matrix composites [J]. Rare Materials and Engineering, 2002, 31(6): 445–448.

[4] 韩明臣. 钛铝化合物箔的加工[J]. 钛工业进展, 1998, 15(6): 29–30.

HAN Ming-chen. Process of TiAl intermetallics foil [J]. Titanium industry Progress, 1998, 15(6): 29–30.

[5] CHEN Fuh-kuo, CHIU Kuan-hua. Stamping formability of pure titanium sheets [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 170(1/2): 181–186.

[6] RODNEY B, GERHAND W, COLLINGS E W. Materials properties handbook: Titanium alloys [M]. Materials Park: ASM International, 1994: 594–598.

[7] LIANG X B, LI S Q, CHENG Y J, ZHANG J W. Flow stress behavior and deformation characteristics of Ti-22Al-25Nb alloys at elevated temperature [J]. Materials Science Forum, 2005, 475/479: 825–828.

[8] SHANKAR H, PRASAD N E, SINGH A K, NANDY T K. Low temperature flow behaviour of B2 intermetallic phase in Ti-Al-Nb system [J]. Materials Science and Engineering A, 2006, 424(1/2): 71–76.

[9] RHODES C G, SMITH P R, HANUSIAK W H, SHEPARD M J. Microstructural evolution in wire-drawn Ti-22Al-26Nb powder [J]. Metallurgical and Materials Transaction A, 2000, 31(11): 2931–2941.

[10] TANG F, HAGIWARA M. Effect of compositional modification on ductility of B2 phase in Ti-Al-Nb intermetallic alloy [J]. Journal of Materials Research, 2002, 17(10): 2611–2614.

[11] LUO D, CUI Y Y, YANG R. Effects of cooling rate on the microstructure and room temperature tensile properties of orthorhombic Ti-22Al-21Nb-1Ta-1W alloy [J]. Materials Science Forum, 2005, 475/476/477/478/479: 817–820.

(编辑 刘华森)