

Ti-23Al-17Nb 合金锻制饼材的组织与性能

程云君, 韩积亭, 张建伟, 梁晓波

(钢铁研究总院 北京 100081)

摘 要: 在 α_2+B_2 相区制作 Ti-23Al-17Nb 合金饼材, 观察饼材纵断面不同区域的微观组织。对沿径向截取的拉伸试样进行不同固溶温度+850 °C、16 h、AC 时效处理, 测试其拉伸性能。对最佳热处理制度处理试样进行不同温度拉伸性能, 600 °C 和 650 °C 持久性能和 650 °C, 100 h 热暴露的稳定性等进行测试。结果表明: 采用该工艺制作的饼材的组织比自由锻饼材的组织更均匀; 经(1 040 °C, 2 h, AC)+(850 °C, 16 h, AC)热处理后, 饼材的综合性能良好, 可作为航空和航天等领域的备选用材。

关键词: Ti-23Al-17Nb; 饼材; 组织; 性能

中图分类号: TG 146

文献标志码: A

Microstructure and properties of Ti-23Al-17Nb alloy forging disk

CHENG Yun-jun, HAN Ji-ting, ZHANG Jian-wei, LIANG Xiao-bo

(Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China)

Abstract: A Ti-23Al-17Nb alloy forging disk was made in α_2+B_2 phase field. The microstructures of different zones in vertical section disk were observed. The tensile samples cut along the radial direction in the disk were heat treated at different solution temperatures, then aged at 850 °C, 16 h, AC. The tensile properties were evaluated. Fixed one optimum heat treatment for the samples, the tensile properties at different test temperatures, stress-rupture properties at 600 °C and 650 °C and thermal stabilities at 650 °C, 100 h were evaluated. The results show that the microstructure of disk prepared by this forging process is more homogeneous than that of general open forging. The tensile samples with heat treatment of 1 040 °C, 2 h, AC+850 °C, 16 h, AC show good combination of strength and ductility. This alloy is good candidate material for aeronautic and astronautic industry.

Key words: Ti-23Al-17Nb alloy; disk; microstructure; property

Ti-23Al-17Nb 合金是钢铁研究总院自主研制的一种 Ti₃Al 基金属间化合物合金, 其名义成分为 Ti-23Al-17Nb (摩尔分数, %)(简称为 Ti-23Al-17Nb 合金), 因其具有密度低、高温比强度高及抗氧化性能好等特点, 在航空航天领域中得到广泛应用^[1-2]。随着供货规格类型的不断增加, 经常遇到大尺寸规格的棒材和饼材, 采用一般的自由锻造方法, 对于 Ti₃Al 基金属这类难变形材料, 由于变形抗力大, 只能进行多火

次的拔长或镦粗变形, 大尺寸的饼材, 在锻后心部往往过热, 变形组织不均匀, 心部的上下端面处晶粒粗大, 晶界明显, 性能达不到客户的要求。因此, 本文作者参考一些钛合金的饼材制作方法^[3-4], 首次采用水压机, 在两相区进行一火次大变形的镦粗变形方式, 制作得到 Ti-23Al-17Nb 合金饼材, 并对锻后的饼材进行不同固溶温度的热处理工艺试验, 选出一种最佳的热处理工艺, 测试热处理后的饼材不同温度的拉伸性能、

持久性能和长时稳定性等。

1 实验

实验用合金由真空自耗电弧 3 次熔炼而成，其化学成分见表 1。铸锭首先在 $B2$ 相区温度经约 70% 变形量的开坯锻造成约 100 mm 的方坯，再在 (α_2+B2) 两相区进行 3 次镦拔，最后在 1 250 t 水压机上一次压成 $d\ 230\times 85\ \text{mm}$ 的饼材，最后一次的变形量大于 60%。对饼材进行了解剖，切取 1/4 圆饼，做纵向截面的低倍和高倍组织观察，沿径向线切割取 $d\ 12\ \text{mm}\times 100$ 圆棒进行不同热处理后，再加工成 $d\ 5\ \text{mm}$ 标准试力学拉伸性能试样。用 Leica 显微图像分析仪和 JMS-6480LV 扫描电镜进行组织观察。

表 1 合金的化学成分

Table 1 Chemical composition of alloy

<i>x</i> /%			<i>w</i> / 10^{-6}		
Al	Nb	Ti	O	N	H
23.2	17.0	Bal.	900	140	13

2 结果与讨论

2.1 饼材的变形后低倍及金相组织

图 1 所示为 1/4 圆饼纵向的截面的宏观照片及对应的不同部位的光学金相组织。由宏观照片可见，心部的易变形区有变形流线，中心上下的难变形区未见明显的粗晶区，晶粒基本为模糊晶。各区微观组织为等轴的 α_2 和 $B2$ 转变组织。 α_2 颗粒大小大多在 $10\ \mu\text{m}$ 以下，其分布随各区域变形程度不同而稍有不同变化，未见粗片和长条的 α_2 相，说明变形比较充分，组织比多火次小变形量的自由锻饼材均匀。

2.2 不同固溶温度对饼材拉伸性能的影响

在 α_2+B2 两相区锻造后的 Ti_3Al 基合金，经固溶+时效处理后，可获得双态组织^[5-6]，此种组织容易兼顾航空部件要求的长时稳定性和短时力学性能相匹配的综合性能。本研究进行了 3 种不同固溶温度处理的实验，时效温度均为 $850\ ^\circ\text{C}$ ，16 h，AC。图 2 所示为 3 种处理所对应的金相组织，该组织由 $B2$ 相基体、 α_2 相颗粒及 O 相板条构成，3 个相因成分差异而在扫描电

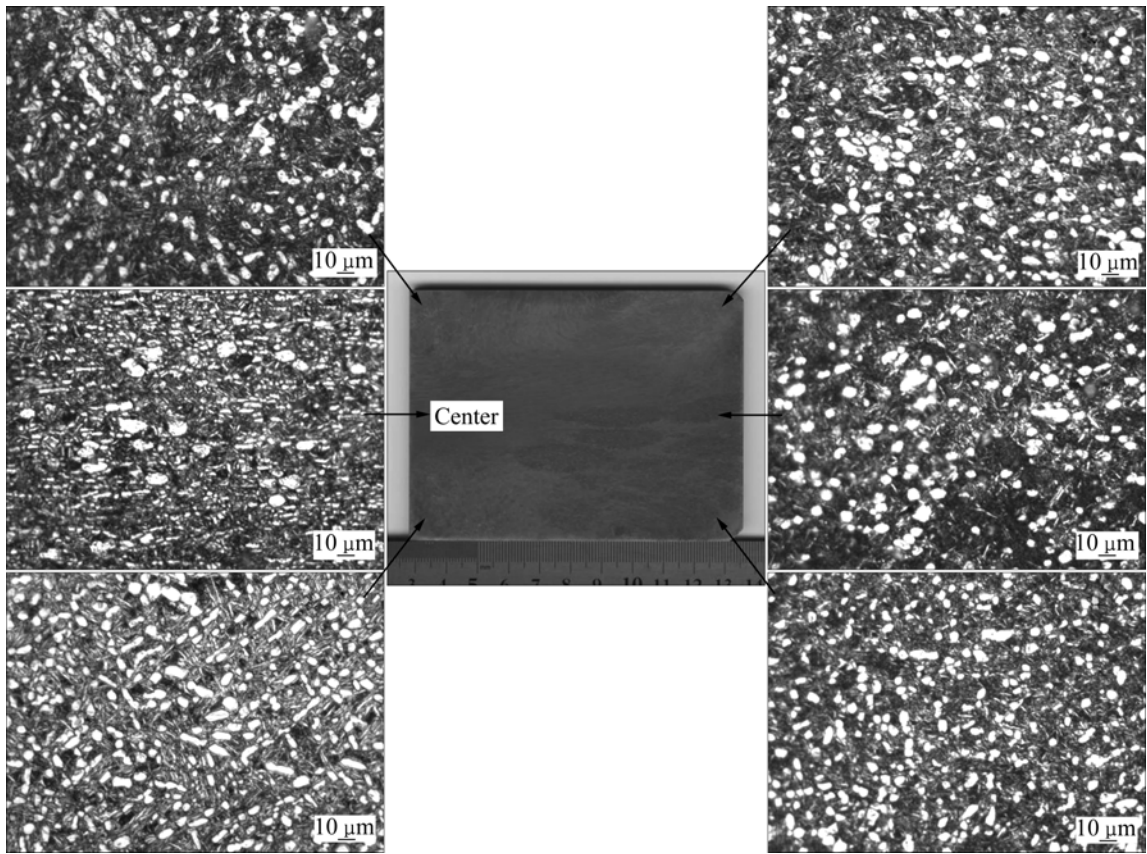


图 1 饼材 1/4 纵断面的宏观组织及箭头所指区域的微观组织

Fig.1 Macrostructure of 1/4 disk vertical section and microstructures of different zones with arrow indicating

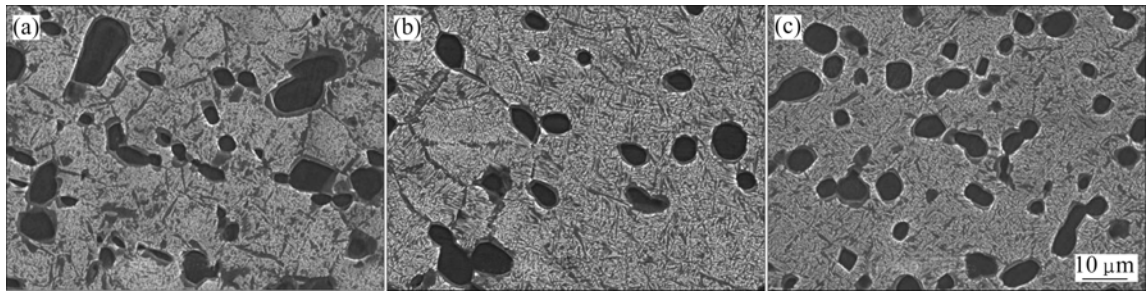


图 2 Ti-23Al-17Nb 合金饼材经不同固溶温及 850 °C 时效后的显微组织

Fig.2 Microstructures of Ti-23Al-17Nb alloy disk solution-treated at different solution temperatures and aged at 850 °C; (a) 1 020 °C, 2 h, AC; (b) 1 040 °C, 2 h, AC; (c) 1 060 °C, 2 h, AC

镜的二次电子图像中分别呈白色、黑色和灰色。组织中较大的黑色 α_2 相颗粒周边均形成了一层较薄的灰色环形边沿,这一形态的 O 相可能由 α_2+B2 相界形核生成。随固溶温度的增加, α_2 相颗粒变小, α_2 量也减少,基体的 O 相板条变粗。

表 2 所列为 3 种不同固溶温度下的双态组织拉伸性能。由表 2 可看出,随固溶温度的升高,合金的拉伸强度有所增加,但室温伸长率以 1 040 °C 固溶处理最好。

表 2 不同固溶温度下合金的双态组织拉伸性能

Table 2 Tensile properties of alloy with duplex microstructures under different solution temperatures

Heat treatment	Test temperature/ °C	σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ_5 / %	ψ / %
(1 020°C, 2 h, AC)+(850 °C, 16 h, AC)	RT ¹⁾	970	842	5.0	6.5
	650	683	545	17.0	37.0
(1 040 °C, 2 h, AC)+(850 °C, 16 h, AC)	RT ¹⁾	1003	838	7.0	9.0
	650	723	588	13.0	31.5
(1 060 °C, 2 h, AC)+(850 °C, 16 h, AC)	RT ¹⁾	1030	895	4.0	9.5
	650	762	627	15.0	43.5

1) RT is room temperature.

2.3 饼材的不同温度拉伸性能

选定(1 040 °C、2 h, AC)+(850 °C、16 h, AC)处理制度对饼材进行热处理后,做不同温度的拉伸性能测试,其结果如图 3 所示。由图 3 可看出,随拉伸实验温度增加,拉伸强度缓慢下降,在 600 °C 后下降加快。伸长率(δ_5)和断面收缩率(ψ)随温度升高而上升,在 400 °C 以后开始下降,650 °C 时达到最低值,而后再上升。这一规律是 Ti₃Al 和 Ti₂AlNb 基这类合金常见

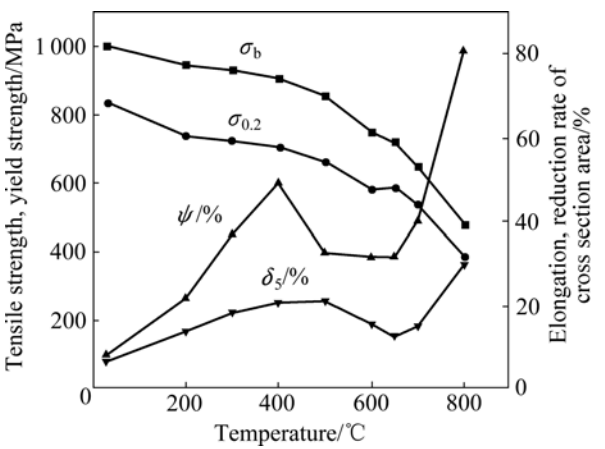


图 3 Ti-23Al-17Nb 合金饼材的拉伸性能与温度的关系

Fig.3 Relationship between tensile properties and temperature of Ti-23Al-17Nb alloy disk

现象^[7-9],有研究者认为这是环境因素的影响,或可能是 O 相在此温度范围内动态应变时效的结果。

2.4 饼材的持久、热稳定性能

表 3 所列为饼材的持久和经 650 °C,100 h 热暴露后试样再拉伸的性能,其持久性能高于一般高温钛合金的^[10],热暴露后的性能在强度上与暴露前相比,变化不大,但室温塑性有所下降,650 °C 的塑性变化不大。

表 3 Ti-23Al-17Nb 合金饼材的持久和热稳定性能

Table 3 Stress rupture and thermal stability properties for Ti-23Al-17Nb alloy disk

Test temp/ °C	Stress/ MPa	Life time/h	Thermal stability (650 °C, 100 h)			
			Test temp/°C	σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ_5 / %
600	400	>150	RT	990	872	2.5
650	320	103.1	650	735	603	16.0

3 结论

1) 采用水压机在 α_2+B2 两相区最后一火次大变形量工艺锻制的 Ti-23Al-17Nb 合金饼材, 其各区的变形组织通过低倍观察无明显清晰晶粒存在, 通过高倍观察则无粗片的 α_2 长条, 组织优于一般多火次小变形量的自由锻饼材的。

2) 采用以上方式锻制的饼材, 经(1 040 °C, 2 h, AC)+(850 °C, 16 h, AC)热处理后, 综合性能良好, 不同温度的拉伸性能和持久性能优于一般高温钛合金的, 应是航空长时间使用和航天领域短时间高温使用的轻质备选材料之一。

REFERENCES

- [1] ZONG Zeng-yong, ZOU Dun-xu, LI Shi-qiong. Advance in Ti₃Al and TiAl intermetallics research in CISRI[J]. Acta Metallurgical Sinica: English Letters, 1995, 8: 531–541.
- [2] 李世琼, 张建伟, 程云君, 梁晓波. Ti₃Al 和 Ti₂AlNb 基金属间化合物结构材料研发现状[J]. 稀有金属材料与工程, 2005, 34(Suppl. 3): 104–109.
LI Shi-qiong, ZHANG Jian-wei, CHENG Yun-jun, LIANG Xiao-bo. Current status on development of Ti₃Al and Ti₂AlNb intermetallic structural materials[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2005, 34(Suppl. 3): 104–109.
- [3] 魏寿庸, 王永强, 关少轩, 刘羽寅. TA15 钛合金大直径棒材的组织与性能[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(Suppl.3): 49–52.
WEI Shou-yong, WANG Yong-qiang, GUAN Shao-xuan, LIU Yu-yin. The microstructure and mechanical properties of TA15 alloy large-sized bar[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(Suppl. 3): 49–52.
- [4] 李渭清, 冯永琦, 王鼎春, 何书林, 乔恩利, 雷家峰, 刘羽寅. 锻粗变形工艺对 TC18 组织和性能的影响[J]. 钛工业进展, 2008, 25(4): 24–26.
LI Wei-qing, FENG Yong-qing, WANG Ding-chun, HE Shu-lin, QIAO En-li, LEI Jia-feng, LIU Yu-yin. Influence of compression deformation process on the microstructure and properties of TC18 alloy[J]. Titanium Industry Progress, 2008, 25(4): 24–26.
- [5] 张建伟, 张海深, 张学成, 梁晓波, 程云君, 李世琼. Ti-23Al-17Nb 合金双态组织的控制及其对力学性能的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2010, 39(2): 372–376.
ZHANG Jian-wei, ZHANG Hai-shen, ZHANG Xue-cheng, LIANG Xiao-bo, CHENG Yun-jun, LI Shi-qiong. Control of duplex microstructure of Ti-23Al-17Nb alloys and its effect on mechanic properties[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2010, 39(2): 372–376.
- [6] 张建伟, 程云君, 梁晓波, 李世琼. (α_2+B2+O)三相区温度变形的 Ti₃Al 基板材的组织性能[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(Suppl.3): 561–564.
ZHANG Jian-wei, CHENG Yun-jun, LIANG Xiao-bo, LI Shi-qiong. Study on the microstructure and properties of hot rolling sheets of Ti₃Al based alloy processed in (α_2+B2+O) phase field[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(S3): 561–564.
- [7] WARD C H. Microstructure evolution and its effect on tensile and fracture behaviour of Ti-Al-Nb α_2 intermetallics[J]. International Materials Review, 1993, 38(2): 79–101.
- [8] BANERJEE D, GOGIA A K, NANDY T K, MURALEEDHARAN K, MISHRA R S. The physical metallurgy of Ti₃Al based alloys[C]//DARALIA R, LEWANDOWSKI J J, LIU C T, MARTIN P L, MIRACLE D B, NATHALM V. Structural Intermetallics. The Mineral, Metals & Materials Society, 1993: 19–33.
- [9] LI Shi-qiong, MAO Yong, ZHANG Jian-wei, LI Jun-tao, CHENG Yun-jun, ZONG Zeng-yong. Effect of microstructure on tensile properties and fracture behavior of intermetallic Ti₂AlNb alloys[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2002, 12(4): 582–586.
- [10] 张喜燕, 赵永庆, 白晨光. 钛合金及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 123–153.
ZHANG Xi-yan, ZHAO Yong-qing, BAI Chen-guang. Titanium alloy and its applications[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 123–153.

(编辑 龙怀中)