

Ti-1023 钛合金改锻工艺优化

黄利军, 齐立春, 黄 旭

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘 要: Ti-1023 钛合金通过适当的变形, 可达到组织性能的良好匹配。设计了 3 种改锻工艺方案, 试样经过改锻后测试其宏观/微观组织、拉伸性能和断裂韧性。结果表明: 第 1、2 种工艺方案由于原始 β 晶粒尺寸偏大、晶界破碎不充分塑性很低; 综合前 2 种方案的第 3 种方案获得的钛合金的显微组织和力学性能都比较理想, 而且该工艺重复性较好, 可作为实际生产工艺。

关键词: Ti-1023 钛合金; 锻造; 力学性能

中图分类号: TG 146.23

文献标志码: A

Deformation process optimization of Ti-1023 titanium alloy

HUANG Li-jun, QI Li-chun, HUANG Xu

(Beijing Institute of Aeronautic Materials, Beijing 100095, China)

Abstract: The excellent combined properties could be achieved by means of proper deforming process for Ti-1023 titanium alloy. Three deforming schemes were designed, named schemes 1, 2 and 3, respectively. The micro/macro-structures were checked and mechanical properties were tested. It is shown that Ti-1023 titanium alloy deformed by schemes 1 and 2 have poor ductility for large original β grain sizes and insufficient breakage of grain boundary. Ti-1023 titanium alloy deformed by schemes 3 shows better micro/macro-structures and mechanical properties, and the process is of good repeatability. So, the process using case 3 can act as factory process.

Key words: Ti-1023 titanium alloy; forging; mechanical properties

Ti-1023 钛合金是一种高强、高韧、损伤容限型钛合金, 具有优良的综合性能^[1-2], 与 Ti-6Al-4V 的锻造流变应力比较, 在使用相同的锻造设备和模具时, Ti-1023 合金更易于成形^[3]。但是, 如果采用的工艺不适当, 例如开坯、改锻温度控制不当, 变形量不足或太大等, 则导致强度—塑性—韧性不能很好地匹配, 要么强度偏高、塑性偏低, 要么强度、塑性很好, 韧性达不到使用要求等。

目前, 对 Ti-1023 合金变形工艺的研究主要集中在加工图、有限元模拟及等温锻造等方面^[4-8]。这些工作忽略了一个重要问题, 即用于最终加工锻件或最终变形前的材料有复杂的加工历史, 不是简单的一步变

形就能保证组织性能合格。研究工作表明, 改锻对保证组织性能是非常重要的^[9]。本文作者对 Ti-1023 钛合金开坯后的改锻火次、改锻温度及变形程度与组织性能关系进行了详细研究, 给出了优化后的改锻工艺, 并进行了工艺验证。

1 实验

1.1 原材料

试验用原材料为北京航空材料研究院 VAR 电弧炉熔炼的 d 380 mm 铸锭。为了破碎粗大的铸造枝晶

组织、焊合内部疏松和气孔, 铸锭经过 1 200 °C 开坯后进行改锻试验。其化学成分如表 1 所示, 头部相变点为 808 °C。

表 1 Ti-1023 钛合金的化学成分

Table 1 Chemical composition of Ti-1023 titanium alloy (mass fraction, %)

Al	V	Fe	C	O	N	H	Ti
3.17	10.64	1.62	0.008	0.12	0.006	0.005 4	Bal.

1.2 改锻试验

改锻的目的是通过控制变形温度和变形量, 结合热处理细化晶粒、消除或减少网状晶界 α 、控制晶粒内部初生 α 相的形态和比例, 达到改善材料综合性能的目的^[9]。对于 Ti-1023 钛合金, 通过充分的改锻来达到强度 - 塑性 - 韧性的良好匹配尤为重要。而改锻火次太多、加热温度变化频繁会使生产成本大幅度增加, 因此需要通过改锻工艺试验确定最佳工艺。

在铸锭开坯的基础上制定 3 种变形方案, 分别为方案 1、方案 2 和方案 3(见图 1)。每种方案变形结束后在试料一端切取试片, 经过固溶时效热处理后取样分析宏观/微观组织, 组织分析在莱卡数码金相显微镜

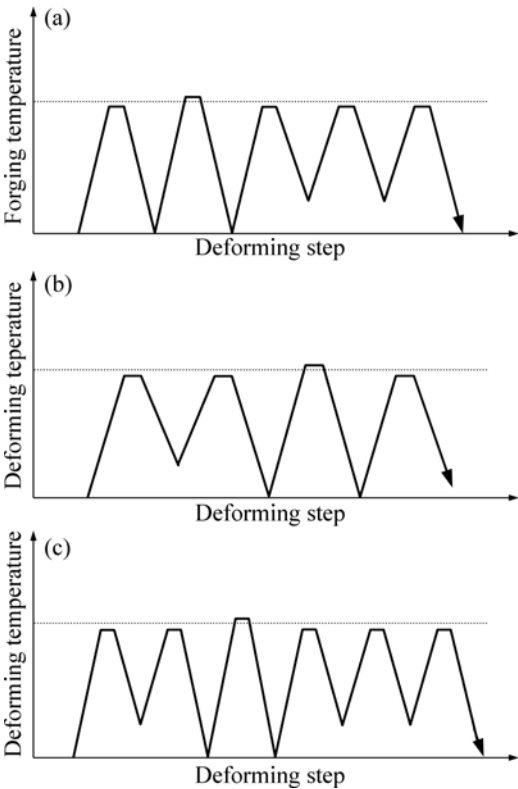


图 1 变形工艺方案

Fig.1 Deformation process schemes: (a) Scheme 1; (b) Scheme 2; (c) Scheme 3

上进行。之后切取料坯加工试样, 在 MTS 实验机上测试拉伸性能和断裂韧度。

2 实验结果

试片 1~3 的宏观/微观组织如图 2~4 所示。其中, 高倍组织取自各试片上拉伸试样的螺纹部分。拉伸性能见表 2。

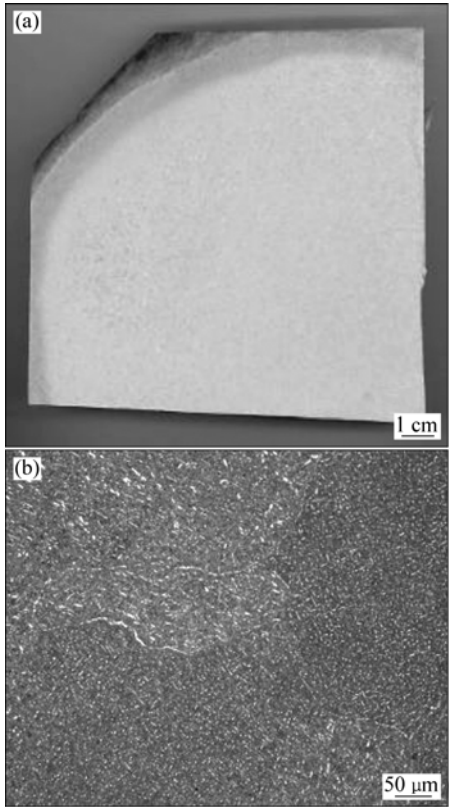


图 2 方案 1 改锻的 Ti-1023 钛合金的宏观/微观组织

Fig.2 Macro/micro-structures of Ti-1023 titanium alloy deformed by scheme 1: (a) Macro-structure; (b) Micro-structure

表 2 各方案改锻的 Ti-1023 钛合金的力学性能测试结果

Table 2 Tensile properties and broken toughness of Ti-1023 titanium alloy deformed by three schemes

Scheme No.	Tensile property				Broken toughness	
	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ψ /%	K_{IC} /(MPa·m ^{1/2})	K_{Q} /(MPa·m ^{1/2})
1	1 185	1 106	4.2	5.7	87.47	—
	1 210	1 139	3.5	11.1	83.87	—
2	1 142	1 071	4.0	12.3	79.33	—
	1 152	1 076	3.6	9.3	77.78	—
3	1 190	1 144	11.6	54.3	—	93.10
	1 177	1 144	11.7	63.1	—	—

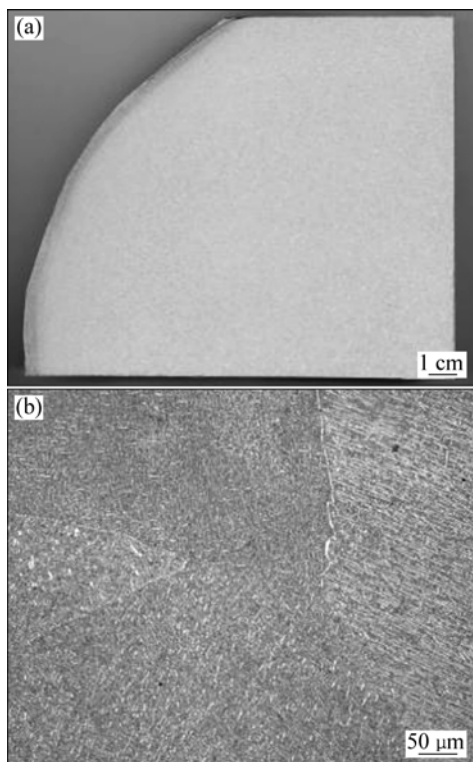


图 3 方案 2 改锻的 Ti-1023 钛合金的宏观/微观组织
Fig.3 Macro/micro-structures of Ti-1023 titanium alloy deformed by scheme 2: (a) Macro-structure; (b) Micro-structure

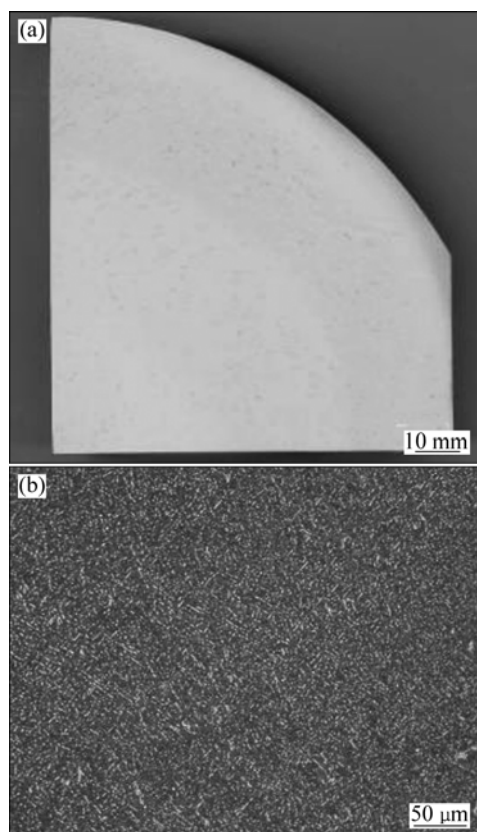


图 4 方案 3 改锻的 Ti-1023 钛合金的宏观/微观组织
Fig.4 Macro/micro-structures of Ti-1023 titanium alloy deformed by scheme 3: (a) Macro-structure; (b) Micro-structure

3 分析与讨论

从宏观/微观组织(图 2~4)可以看出: 经过方案 1 的改锻后, 虽然晶界基本破碎, 宏观组织较模糊, 由于总变形量不足, 粗大的原始 β 晶粒痕迹没有消除, 显微组织不均匀, 强度和断裂韧性较高, 塑性很差。方案 2 与方案 1 相比, 在相变点以上变形火次之前增加了一个两相区变形。目的是通过增加两相区的变形来保证后续单项区加热变形时, 更容易发生再结晶, 从而使单项区变形后组织更均匀, 因此, 减少了单项区变形之后的变形火次。结果表明: 宏观组织与方案 1 比较无明显差别, 显微组织反而晶界更明显, 力学性能也没有明显改善。

方案 3 是前 2 种方案的综合, 组织分析结果表明: 宏观组织为毛玻璃状模糊晶, 显微组织为大量球状初生 α 加少量棒状初生 α 相分布在 β 转变基体上的组织。拉伸强度及塑性匹配非常好。受试样尺寸限制, K_C 试样不满足平面应变判据, 给出的为 K_Q 值。

为了验证方案 3 的稳定性, 重新下料按方案 3 进行变形试验, 切片分析宏观/微观组织(见图 5)并测试性能(见表 3)。结果表明: 宏观/微观组织及拉伸性能

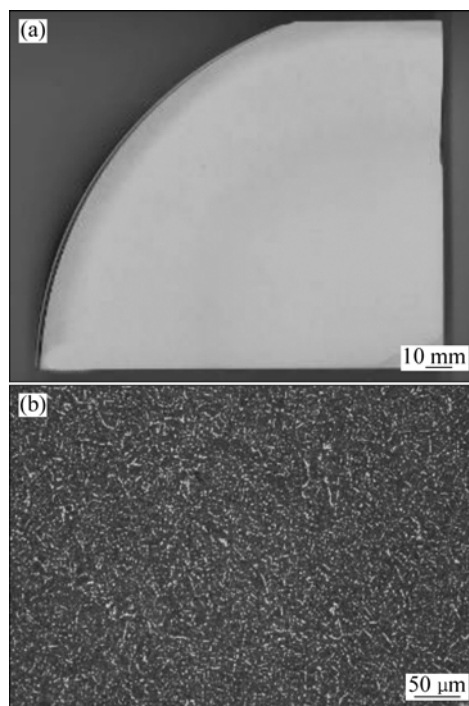


图 5 重复方案 3 改锻的 Ti-1023 钛合金的宏观/微观组织
Fig.5 Macro/micro-structures of Ti-1023 titanium alloy deformed by repeated scheme 3: (a) Macro-structure; (b) Micro-structure

表 3 方案 3 重复改锻后 Ti-1023 钛合金的力学性能

Table 3 Mechanical properties of Ti-1023 titanium alloy deformed by repeated scheme 3

σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	Ψ /%	K_c /(MPa·m ^{1/2})
1 180	1 099	12.0	43.4	74.48
1 182	1 106	11.6	55.7	84.80

与方案 1 试验结果相当，工艺重复性较好。

4 结论

- 1) 改锻对 Ti-1023 钛合金综合性能具有较大影响。当原始β晶粒较大、变形不能充分破碎晶界α时，合金的强度偏高且塑性很差。
- 2) 适当的变形和热处理细化晶粒使大部分初生α球化后可达到强度、塑性、韧性的良好匹配。工艺 3 的 2 次试验结果表明：该工艺是较理想的改锻工艺。

REFERENCES

[1] BOYER R R, KUHLMAN G W. Metallurgical transaction A, 1987, 18: 2095–2103.

[2] 吕逸帆, 孟祥军, 李士凯. TB6 钛合金β斑研究概述[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(s3): 544–548.

[3] KUHLMAN G W, PISHKO R, KAHRS J R, NELSON J W. Beta titanium alloys in the 1980'[M]. New York: AIME, 1984: 255–280.

[4] WEISS I, SEMIATIN S L. Thermomechanical processing of beta titanium alloys: An overview[J]. Materials Science and Engineering A, 1998, 243: 46–65.

[5] WAND J, DU Z, YANG H. Relationship between mechanical properties, microstructure and processing parameters in Ti-10V-2Fe-3Al alloy isothermal forging conditions[C]//Titanium 1995: Science and Technology. Birmingham: Institute of Materials Press, 1996, 11: 1272–1279.

[6] RYDSTAD H, DUERIG T W, BOER C R. Hot die forging of Ti-10V-2Fe-3Al[J]. Titanium-Science and Technology, 1985, 1: 641–646.

[7] KUHLMAN G W, PISHKO R. Isothermal forging of beta and near beta titanium alloy[C]//Beta Titanium Alloys in 1980's. Warrendale: TMS, 1984: 19.

[8] MAEDA T, OKADA M. Improvement of strength and fracture toughness in isothermally forged Ti-10V-2Fe-3Al[C]//Titanium 1995: Science and Technology. Birmingham: Institute of Materials Press, 1996, 11: 948–955.

[9] 黄利军, 鲍如强, 黄旭, 郭灵. Ti-1023 钛合金细晶化和组织控制工艺研究[J]. 稀有金属, 2004, 28(1): 54–57.

(编辑 陈卫萍)