

热机械处理对 Ti-10V-2Fe-3Al 钛合金组织和性能的影响

雷锦文¹, 曾卫东², 吴 欢³, 杜予暄¹, 唐晓东¹, 庾高峰¹, 周义刚², 张 奕¹

(1. 西部超导材料科技有限公司, 西安 710018; 2. 西北工业大学 材料科学与工程学院, 西安 710072;
3. 西北有色金属研究院 钛合金研究所, 西安 710016)

摘 要: 研究了 Ti-10V-2Fe-3Al 合金在两相区、近 β 区和 β 区 3 种锻造工艺下的微观组织、力学性能和断口形貌。结果表明: 两相区和近 β 区锻造获得等轴组织, 强度高, 塑性好, 但 K_{IC} 较低; β 锻造获得片状组织, 强度和塑性较低, K_{IC} 较高; 比较 3 种锻造工艺, 近 β 锻造可以获得各项力学性能的最佳匹配。

关键词: Ti-10V-2Fe-3Al 合金; 显微组织; 拉伸性能; 变形量

中图分类号: TG 146.2

文献标志码: A

Effects of mechanical heat-treatment on microstructure and properties of Ti-10V-2Fe-3Al alloy

LEI Jin-wen¹, ZENG Wei-dong², WU Huan³, DU Yu-xuan¹,
TANG Xiao-dong¹, YU Gao-feng¹, ZHOU Yi-gang², ZHANG Yi¹

(1. Western Superconducting Technologies Co., Ltd., Xi'an 710018, China;
2. School of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;
3. Titanium Alloy Research Center, Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

Abstract: The effects of $(\alpha+\beta)$ forging, near β forging and β forging on the microstructure, mechanical properties and fracture morphology were studied. The results show that the microstructures of Ti-10V-2Fe-3Al alloy undergone $(\alpha+\beta)$ forging, near β forging and β forging are equiaxed and lamellar, respectively. Compared to the lamellar structure, equiaxed structure exhibits higher strength and plasticity, but the lower toughness. It is shown that the excellent combination of strength, ductility and toughness can be obtained in Ti-10V-2Fe-3Al alloy by large deformation in near β forging.

Key words: Ti-10V-2Fe-3Al alloy; microstructure; tensile property; deformation

Ti-10V-2Fe-3Al 合金是一种近 β 型合金, 具有比强度高、断裂韧性好、淬透截面大、各向异性小、锻造温度低和抗应力腐蚀能力强等一系列优点, 能够满足高结构效益、高可靠性和低制造成本的设计要求, 适用于生产锻件、锻棒、板材等, 可用于生产 316 以下工作的发动机和飞机构件。

Ti-10V-2Fe-3Al 通过热机械处理可以获得强度、韧性、塑性和疲劳强度的良好匹配。许多工作研究了

该合金微观组织和力学性能之间的关系, 但对锻造温度—变形量—力学性能三者关系方面的报道较少。BOYER^[1]研究了 Ti-1023 合金组织和性能的关系, 认为 Ti-1023 合金可通过热加工工艺获得优良的综合力学性能。合金的微观组织主要受化学成分、加工历史和热处理的影响。DUEBIG 等^[2]对 Ti-1023 合金的相转变行为和力学性能进行了探讨, 较完整地给出了各种相对力学性能的影响规律。本文作者研究了 3 种不同

锻造温度和变形量对力学性能及断口形貌的影响规律,为精确控制微观组织和优化热变形工艺提供参考。

1 实验

1.1 实验材料

实验用材料为西北有色金属研究院提供的 $d\ 205\ \text{mm}\times 600\ \text{mm}$ 的 Ti-10V-2Fe-3Al 铸锭,经 3 次真空自耗熔炼而成。合金相变点为 $805\ ^\circ\text{C}$,化学成分见表 1。

表 1 Ti-1023 合金的化学成分

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

Al	V	Fe	O
3.0	10.0	1.85-1.92	0.09
N	H	C	Ti
0.009	0.001	0.04-0.07	Bal.

1.2 实验方案

Ti-1023 合金经 β 相区开坯和两相区改锻后,最后一火按不同的锻造温度和变形量进行锻造,锻后采用统一的热处理制度:($760\ ^\circ\text{C}$, 45 min, AC)+(520 $^\circ\text{C}$, 540 min, AC)。试验方案为:方案 1 选取不同的锻造温度,分别为常规锻造 $770\ ^\circ\text{C}$ 、近 β 锻造 $785\ ^\circ\text{C}$ 、 β 锻造 $830\ ^\circ\text{C}$;方案 2 为近 β 锻造时选取不同的变形量,分别为 40%、60%和 80%。

按以上不同锻造工艺获得的材料,按照 HB5143—80《金属室温拉伸试验方法》的规定进行力学性能测试。在 Olympus PMG3 光学显微镜及 JSM-6460 型扫描电子显微镜(SEM)上进行组织观察。

2 结果与分析

2.1 锻造温度对组织和性能的影响

图 1 和表 2 分别为不同锻造温度对合金组织和性能的影响。从图 1 可以看出:在两相区锻造后的组织中分布着 40%以上的等轴初生 α 相和极少量的次生条状 α 相,这种组织呈现出很高的塑性和强度,但是断裂韧性较低,在近 β 锻造后的组织中主要以条状 α 相为主,大约有 50%左右,只有少量的初生等轴 α 相,这种组织呈现出较高的断裂韧性,但是强度和塑性较低;相比相变点以下的锻造,当锻造温度超过相变点以后,晶粒迅速长大,组织全部转变为再结晶 β 晶粒,

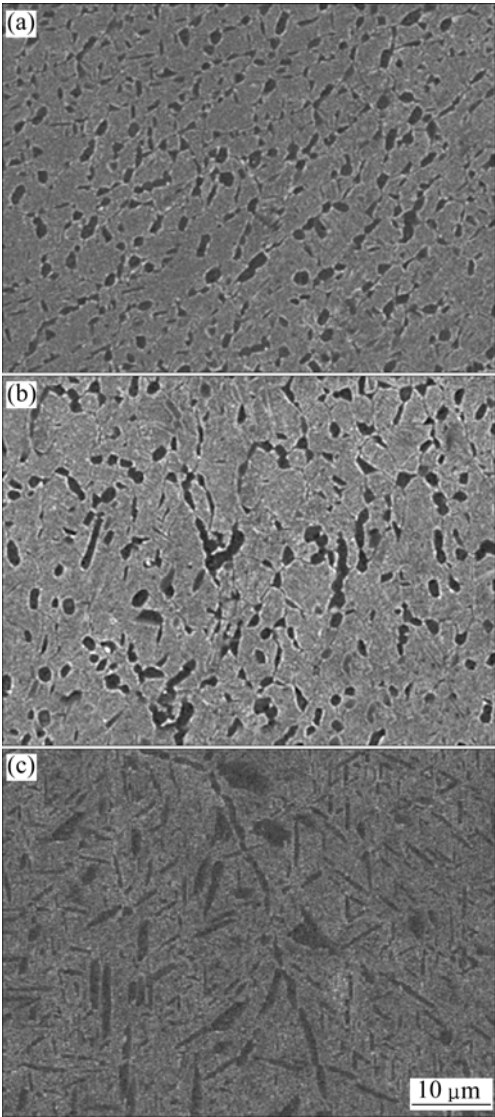


图 1 锻造温度对 Ti-1023 合金显微组织的影响
Fig.1 Microstructures of Ti-1023 alloy produced at different forging temperatures: (a) ($\alpha+\beta$) forging; (b) Near β forging; (c) β forging

表 2 锻造温度对 Ti-1023 合金力学性能的影响

Table 2 Mechanical properties of Ti-1023 alloy produced at different forging temperatures

Forging temperature/ $^\circ\text{C}$	$\sigma_{0.2}/$ MPa	$\sigma_b/$ MPa	$\delta/$ %	$\psi/$ %	$K_{IC}/$ ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
830	1 080	1 125	6.8	30.8	74.99
785	1 095	1 135	9.8	35.5	74.60
770	1 125	1 155	10.5	48.0	70.56

这种组织呈现出较高的断裂韧性,但是塑性和强度较低。综合考察可以发现:随着锻造温度的升高,等轴

初生 α 相含量减少,时效过程中析出的条状 α 相的含量增加,组织开始粗化,条状 α 相的长宽比和 β 晶粒的尺寸增大,合金的强度和塑性降低,但 K_{IC} 提高。总体而言,近 β 锻造可以获得各项性能的最佳搭配。

2.2 变形量对组织和性能的影响

图2所示为经不同变形量近 β 锻造后所得到的微观组织。从图2可以看出:当变形量在40%时, α 相主要以短棒状为主;当变形量在60%和80%时,大量条状 α 相破碎,且长宽比降低,等轴 α 相增多。其主要原因是:随着变形程度的增大,组织中的缺陷(位错、滑移带和孪晶界等)增多,内部出现亚晶界的条状 α 相数量也增多,条状 α 相沿着亚晶界滑动直接解体

和 β 相沿亚晶界楔入截断解体的片层 α 相越来越多,使储存在变形合金内的畸变能增大,容易由位错缠结形成胞状亚结构,即形成亚晶,在亚晶的基础上容易发生再结晶破碎条状 α 相。同时,大变形也能使更多的滑移系的位错源启动,产生相应的滑移,也有利于条状 α 相的细化^[3-4]。

从图3可以看出:随着变形量的增加,合金的强度、塑性提高,断裂韧性略有下降。这与次生 α 相的形态和分布特征有关。当次生 α 相尺寸较大时,空位形核、长大,最后连接而导致合金断裂,使材料的强度降低;当次生 α 相尺寸较小时,位错会在弥散的次生 α 相边界受阻并切过次生 α 相,使材料强度和塑性提高^[5]。材料的 K_{IC} 主要与裂纹的扩展路径有关。结合图2可以看出:随着变形量的增加,条状 α 相破碎,裂纹扩展的路径减少,消耗的能量较少,使得合金的断裂韧性降低;但是组织有所细化,使得合金的强度和塑性提高。

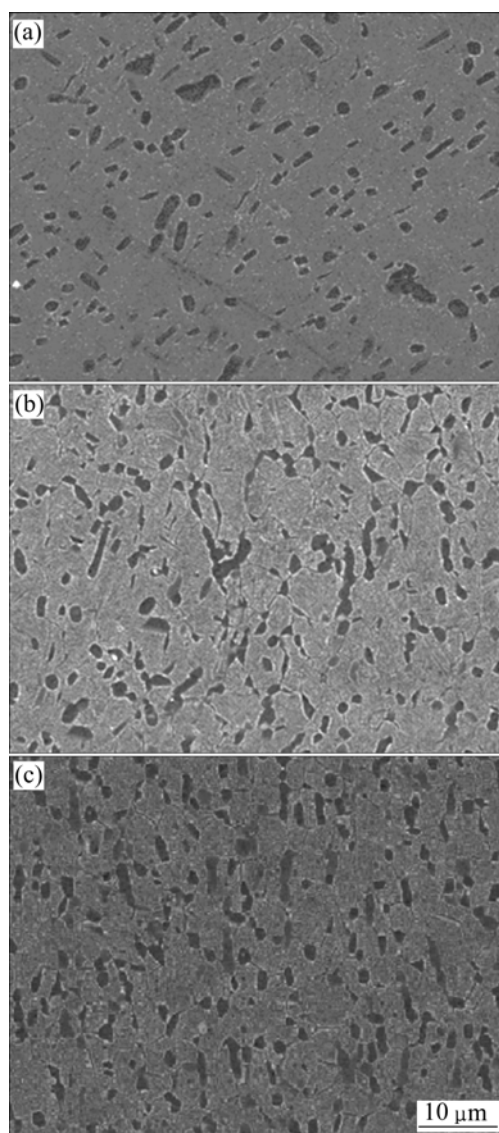


图2 近 β 锻造不同变形量下合金的显微组织

Fig.2 Microstructures of alloy produced by near β forging with different deformation degrees: (a) 40%; (b) 60%; (c) 80%

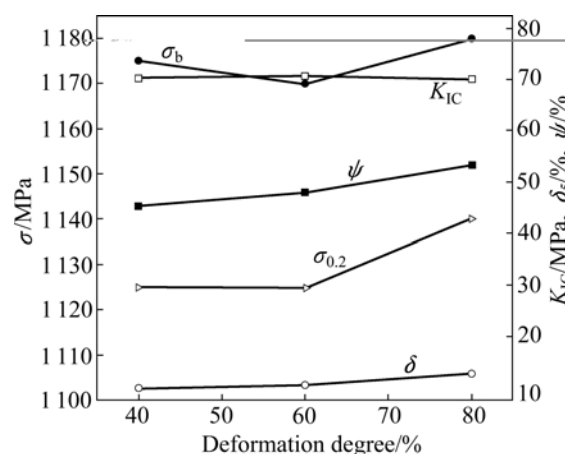


图3 近 β 锻造不同变形量下合金的室温力学性能

Fig.3 Room-temperature mechanical properties of alloy produced by near β forging with different deformation degrees

2.3 拉伸断口扫描分析

图4所示为不同锻造温度下的拉伸断口形貌。从图4可以看出:3种锻造温度下的断裂都属于延性断裂,其微观形貌都由韧窝组成,但是在不同的锻造温度下,韧窝的大小和分布不同。两相区锻造时,韧窝大而且深,分布均匀;近 β 锻造后的韧窝较小,而且较浅; β 锻造后韧窝非常小而且浅。众所周知,韧窝的大小和深浅在一定程度上也能反映合金的塑性,当韧窝大而深时,合金的塑性就较高;反之,则合金的塑性较低。依据韧窝的大小和深度可以推断出,合金在两相区锻造时呈现出最高的塑性,而在 β 锻造时塑性最低。

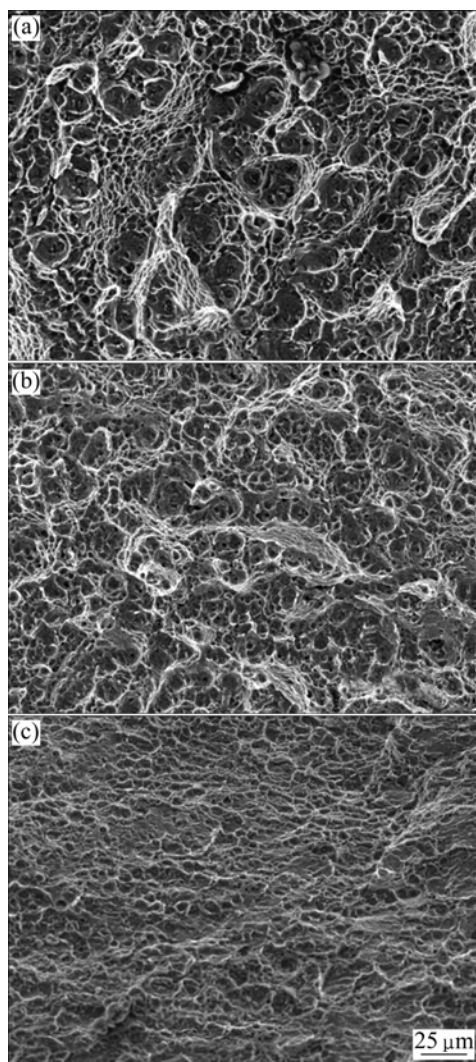


图 4 锻造温度对 Ti-1023 合金断口形貌的影响

Fig.4 Fractographs of Ti-1023 alloy produced by different forging processes: (a) ($\alpha+\beta$) forging; (b) Near β forging; (c) β forging

3 结论

1) Ti-10V-2Fe-3Al 合金在两相区和近 β 区锻造获得等轴组织,强度高,塑性好,但 K_{IC} 较低; β 锻造获得片状组织,强度和塑性较低, K_{IC} 较高;近 β 锻造可以获得各项性能的最佳搭配。

2) 近 β 锻造时,随着变形量的增加,合金的强度、塑性提高,断裂韧性略有下降。这与等轴 α 相和条状 α 相的形态和分布特征有关。

3) 在 3 种锻造温度下的室温拉伸试样断口都属于延性断裂,其微观形貌都由韧窝组成,但是在不同的锻造温度下,韧窝的大小和分布不同。

REFERENCES

- [1] BOYER R R. Design properties of a high-strength titanium alloy Ti-10V-2Fe-3Al [J]. Journal of Metals, 1980, 3A: 61-65.
- [2] DUERIG T W, TERLINDE G H, WILLIAMS J C. Phase transformations and tensile properties of Ti-10V-2Fe-3Al [J]. Metall Trans A, 1980, 12: 1987-1998.
- [3] TERLINDE G, RATHJEN H J, SCHWALBE K H. Microstructure and fracture toughness of the aged β -Ti alloy Ti-10V-2Fe-3Al [J]. Metall Trans A, 1988, 19: 1037-1049.
- [4] SESHACHARYULU T, MEDEIROS S C, FRAZIER W G, PRASAD Y V R K. Hot working of commercial Ti-6Al-4V with an equiaxed α - β microstructure: Materials modeling considerations [J]. Mater Sci Eng A, 2000, 284: 184-194.
- [5] PETERS J O, LUTJERING G, KOREN M, PUSCHNIK H, BOYER R R. Processing, microstructure, and properties of β -CEZ [J]. Mater Sci Eng A, 1996, 213: 71-80.

(编辑 杨 兵)