

Ti - 6Al - 2Zr - 1Mo - 1V 合金粉末冶金工艺

李圣刚 吕宏军

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 研究了 Ti - 6Al - 2Zr - 1Mo - 1V 合金预合金粉末经热等静压烧结后的力学性能和显微组织。结果表明,等离子旋转电极粉末氧增量低,粒度分布较集中,颗粒内部组织细小均匀;粉末钛合金材料室温拉伸强度不低于 970 MPa,伸长率为 16% ~ 21%,组织为均匀的条状相和细小的转变组织。

关键词 钛合金,粉末冶金,力学性能,显微组织

Powder Metallurgy Technology of Ti - 6Al - 2Zr - 1Mo - 1V Alloy

Li Shenggang L üHongjun

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The mechanical property and microstructure of Ti - 6Al - 2Zr - 1Mo - 1V alloy after HIP consolidation pre-alloyed powder is investigated. The results show that the oxygen increment of PREP powder is low. The powder grain size distribution is narrow while its microstructure is fine. The room temperature tensile property of the P/M material is more than 970 MPa, its elongation is 16% - 21%, while its microstructure is homogeneous lath and fine transform .

Key words Titanium Alloy, Powder metallurgy, Mechanical property, Microstructure

1 引言

Ti - 6Al - 2Zr - 1Mo - 1V (BT20)合金是前苏联航空材料研究院于 1964 年研制成功的^[1],该合金属近型钛合金,具有中等的室温和高温强度、良好的热稳定性和焊接性能,一般认为不能通过热处理强化^[2~4],合理的选择成形工艺可以获得良好的力学性能和优异的显微组织。近年来采用传统铸锻工艺制备的 BT20 钛合金材料^[5~6],其内部的疏松、气孔以及偏析等缺陷大大制约了该合金的广泛应用。粉末冶金钛合金成形技术可避免材料内部的成分偏析、疏

松、缩孔等缺陷,残余应力小;在制造复杂结构件方面有突出的优势,工艺过程简单,制造周期短^[7]。本文采用热等静压成形工艺制备 BT20 粉末冶金钛合金材料,对材料的显微组织和性能进行了研究。

2 实验

国产 TA15 钛合金棒材经 (780 ±10) 退火处理,其相稳定系数 $K = 0.3$,落入 (+) 两相钛合金范围。应用等离子旋转电极法 (PREP) 制备球形粉末,其主要成分见表 1。制粉过程中,均由高纯氩气保护,杂质增量限制在最小范围。

表 1 锻棒和粉末的化学成分

材料	Al	Zr	Mo	V	Ti	C	O	H	N
锻棒	6.64	2.00	1.68	2.31	余量	0.0060	0.0780	0.0055	0.0072
粉末	6.95	1.99	1.68	2.24	余量	0.0065	0.0660	0.0060	0.0095

借助 KYKY2800 扫描电镜对 PREP 粉末颗粒的形貌进行观察 (图 1),所制备的粉末,无钨电极污染,其颗粒呈规则球形,流动性好,其松装密度和振实密度较高,颗粒表面有气化形成的凝固痕迹。

研究表明,粉末颗粒晶粒细小,组织均匀、致密,通常是获得组织与性能较好的粉末钛合金所需要的

条件^[8]。图 2 所示为球形粉末的颗粒微观组织,由图可看出,颗粒内部组织细小,呈针状晶,此种粉末是利用雾化原理制得,其冷却速度较快,每个颗粒可看成是单个的小合金铸锭,细小的结晶组织,保证了强度和塑性的最好配合。

收稿日期:2007 - 09 - 30

作者简介:李圣刚,1978 年出生,硕士,主要从事粉末冶金、钛合金材料及工艺的研究

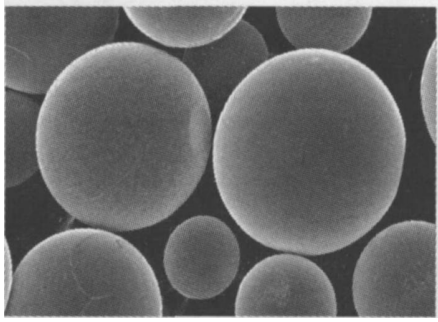


图 1 粉末颗粒形貌 (SEM) 200 ×

Fig 1 Morphology of powder (SEM)

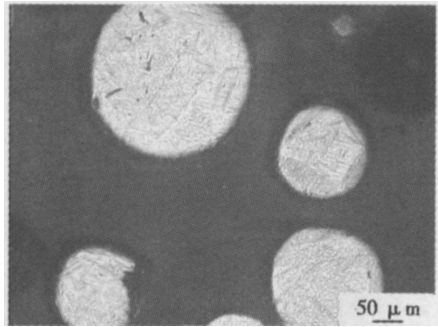


图 2 粉末颗粒微观组织

Fig 2 Microstructure of powders

应用 Mastersizer 2000 激光粒度分析仪测量粉末粒度,表 2 为粉末颗粒尺寸,实验选用两种粒度粉末,1[#]是通粉,2[#]是中间粒度粉,粉末粒度分布对成形材料的性能有一定的影响。

表 2 粉末颗粒尺寸

Tab 2 Grain size of powder μm

编号	体积平均粒度	表面积平均粒度
1 [#]	208.008	196.445
2 [#]	171.110	158.971

BT20 钛合金预合金粉末热等静压主要成形工艺流程:

钛合金粉 装粉 除气、封焊 HIP 处理 粉末钛合金

3 结果与讨论

3.1 拉伸性能

表 3 为 BT20 钛合金预合金粉未经热等静压成形后的拉伸性能。

表 3 BT20 钛合金拉伸性能

Tab 3 Tensile properties of as-hiped BT20 titanium alloy

材料	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%
1 [#]	980	895	20.5
2 [#]	970	935	16.5
锻件退火态	975	935	15.5

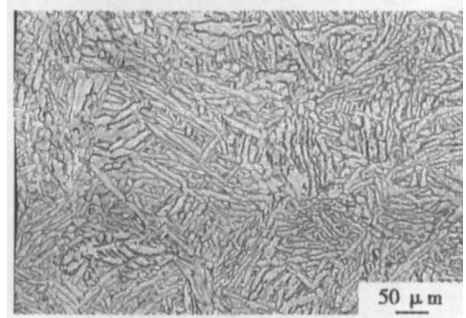
由表 3 可知, BT20 预合金粉未经热等静压成形后,其拉伸性能达到了 BT20 锻件的性能,塑性也达到较高水平。

采用不同粒度的预合金粉末制备的试样,均达到了较高水平,其性能略有差异,2[#]的屈服强度比 1[#]高 40 MPa,伸长率低 4%。1[#]试样的综合性能更好些。

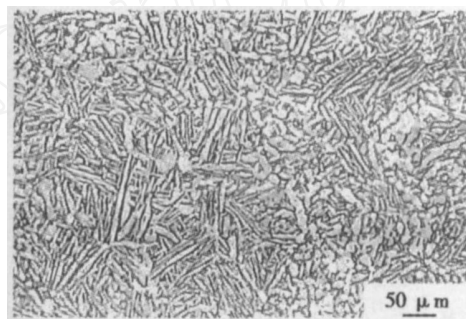
宇航材料工艺 2007 年 第 6 期

3.2 显微组织

图 3 是 BT20 预合金粉末热等静压材料的金相显微组织。BT20 的基体相是 α 相, α 相的含量和形态直接决定了该合金的性能。



(a) 1[#]试样



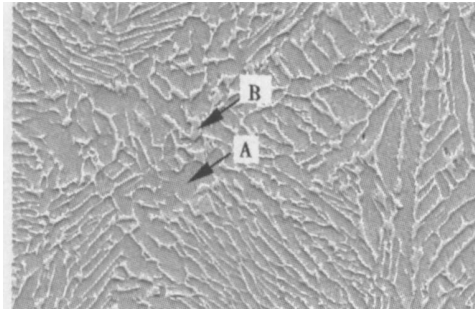
(b) 2[#]试样

图 3 BT20 粉末钛合金显微组织

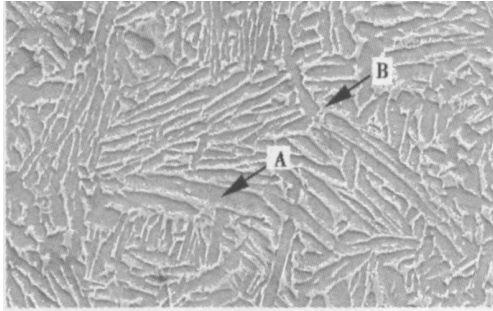
Fig 3 Microstructure of BT20 titanium alloy

由图 3 (a) 可以看出,粉末颗粒发生了明显的塑性变形,在 BT20 粉末钛合金热等静压态组织中存在着大量的类网篮状组织,在原始 α 晶粒的轮廓内呈网篮状编织的片状组织结构,原始 α 晶界不同程度的破碎,晶界 α 相已变得不连续。组织中分布着许多不同取向的 α 片层簇组织, α 片近似平行的分布在基体上。图 3 (b) 与 (a) 中的显微组织很相似,都是由大量的 α 细片层簇及 α 片层间的残留 α 相形成,且存在着少量未溶解的初生块状 α 相。由于在 HIP 过程中包套内的粉体发生了较大程度的塑性变形,使得晶界 α 相发生了扭曲变形,其中一部分晶界 α 相已经破碎消失。

图 4 给出了 BT20 粉末钛合金显微组织的 SEM 形貌。由图 4 所示可看出,两种颗粒尺寸不相同的粉末得到的组织相差不多,晶界 α 相一部分球化和溶解已经不明显,另一部分较平直,晶粒内存在一定数量的块状初生 α 相,初生 α 相之间是次生 α 片和残余 α 相组成的 α 转变组织。次生 α 片依附于 α 相边界生长,且基本平行于片状 α 相,表明在热等静压烧结过程中由 α 相溶解生成的 α 相和原始 α 晶粒具有相同的晶体学取向。



(a) 1#试样



(b) 2#试样

图 4 BT20粉末组织 SEM形貌 1 000 ×

Fig 4 SEM microstructure of P/M BT20 titanium alloy

表 4 为 BT20 粉末的能谱 (EDS) 分析结果。可以看出, 相中除了钛基体外, 有大量的 稳定元素铝、中性元素锆和很少量 相稳定元素钼以及钒; 相中除钛外, 钼含量高于 稳定元素铝的含量, 钒在 相与 相中含量大致相同。

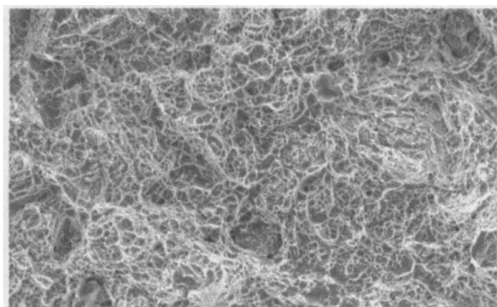
表 4 BT20粉末 EDS分析结果

Tab 4 EDS analysis results of P/M BT20 titanium alloy

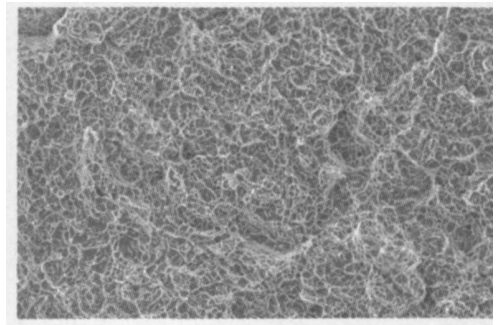
点 (图 4)	元素	质量分数 /%	原子分数 /%
A	Al	7.62	11.71
	Zr	2.25	1.02
	Mo	0.95	0.41
	V	0.37	0.30
	Al	4.61	6.91
B	Zr	2.59	1.15
	Mo	5.52	2.33
	V	3.68	2.93

3.3 断口形貌

图 5 为 BT20 粉末钛合金拉伸断口 SEM 形貌。



(a) 1#试样



(b) 2#试样

图 5 BT20粉末钛合金拉伸断口 SEM形貌 200 ×

Fig 5 Room temperature tensile fracture of P/M BT20 titanium alloy, SEM

1#和 2#粉末制备的钛合金材料的伸长率均 > 16%, 从断口形貌可以看出, 两种样品的断口上都分布着许多韧窝。图 5 (a) 所示的断口表面有较大起伏, 韧窝尺寸不均匀, 存在断裂能量较高的大尺寸韧窝, 在断裂前发生较大的塑性变形。图 5 (b) 所示断口韧窝分布较均匀, 呈等轴状的小韧窝, 宏观表现为韧性断裂。

4 结论

(1) 采用等离子旋转电极工艺制备的粉末, 其颗粒纯度高, 粒度较集中, 粉末内部细小均匀, 呈针状组织。

(2) BT20 预合金粉末经热等静压成形后, 其组织细小均匀, 拉伸强度不低于 970 MPa, 伸长率为 16% ~ 21%, 综合性能良好。

(3) BT20 粉末钛合金热等静压态组织为网篮状, 原始 晶界不同程度的破碎, 晶界 相已变得不连续, 存在少量块状初生 相, 组织为均匀的条状相和细小的 转变组织。

参考文献

- 魏寿庸, 祝瀑等. Ti - 6.5Al - 2Zr - 1Mo - 1V 钛合金简介
- 杨延清等. BT20 钛合金大锻件的热处理. 钛工业进展, 2003; (2): 14 ~ 17
- 沙爱学等. TA15 钛合金的普通退火. 稀有金属, 2003; 27(1): 213 ~ 215
- 张晶宇, 杨延清等. 退火对 TA15 钛合金组织与性能的影响. 金属热处理, 2003; 28(3): 46 ~ 48
- 王红武, 郭志军, 王俭. TA15 钛合金显微组织与断裂韧性分析. 稀有金属材料与工程, 2005; 34(3): 293 ~ 294
- Gerhard Wegmann, Rainer Gerling, Frank-Peter Schirmansky. Temperature induced porosity in hot isostatically pressed gamma titanium aluminate alloy powders. Acta Material, 2003; 51: 741 ~ 752
- 刘学晖, 徐广. 惰性气体雾化法制取钛和钛合金粉末. 粉末冶金工业, 2000; 10(3): 18 ~ 22

(编辑 吴坚)