

# 高性能钛合金粉末冶金技术研究

王亮 史鸿培

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

**文 摘** 采用热等静压预合金粉工艺对 Ti - 6Al - 4V 钛合金粉末冶金技术进行了研究,同时就原料粉状态对粉末钛合金性能的影响进行了初步研究,并进行了近净形成型工艺试验。结果表明,采用预合金粉工艺制备的 Ti - 6Al - 4V 粉末钛合金材料性能良好,且可实现近净形成型;这说明预合金粉工艺在制备高性能、低成本钛合金部件方面有良好的应用前景。

**关键词** 钛合金, Ti - 6Al - 4V, 粉末冶金, 热等静压

## Powder Metallurgy Technology for High Performance Titanium Alloy

Wang Liang Shi Hongpei

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

**Abstract** Metallurgy technology for pre-alloyed Ti-6Al-4V titanium alloy powder by hot isostatic pressing (HIP) is described. The effects of chemical composition and mesh size of pre-alloyed powder on tensile properties of the PM titanium alloy are also presented. The experiments of near-net-shape processing are performed to make some PM titanium parts. Experimental results show that the pre-alloyed PM Ti-6Al-4V alloy has good tensile properties and the PM parts can be near-net-shaped. This indicates that the pre-alloyed processing should have bright prospects in making high performance and low cost titanium alloy parts.

**Key words** Titanium alloy, Ti-6Al-4V, Powder metallurgy, Hot isostatic pressing

### 1 前言

钛及其合金具有比强度高、耐热性好、耐腐蚀等优点,在航空、航天、船舶及化工等领域内均有广泛的应用前景,但是传统的钛合金冶金工艺周期长、能耗大,导致钛合金价格较贵,因而一直阻碍其广泛应用。为降低成本,国外大力发展钛合金无切削少切削的近净形工艺,钛合金的粉末冶金技术就是这种近净形工艺之一。制造钛合金部件目前主要有三种方法:(1)传统的锻造材料加工;(2)铸造;(3)粉末冶金。用锻造材料加工,其材料性能优良,但浪费大,加工量大,成本高,且难获得形状复杂的产品;铸造可获得形状复杂的净形或近净形产品,成本较低,但

铸造过程中材料的成分偏析、疏松、缩孔等缺陷难以避免,材料性能较低,可靠性不高。钛合金的粉末冶金技术是20世纪70年代发展起来的先进钛合金材料制备成型技术,与前两种技术相比,钛合金的热等静压粉末冶金技术有如下优点:(1)与传统的锻材加工技术相比,二者材料性能接近,但粉末冶金技术易于制备形状复杂的部件,且所制备的部件基本为净形,可节省大量原材料,减少机械加工,降低成本;视形状复杂程度,与传统方法相比,成本可降低20%~50%<sup>[1~3]</sup>;(2)与钛合金的铸造技术相比,二者都是近净形工艺,但粉末钛合金具有更优良的性能,热等静压固结的粉末钛合金可100%致密,具有良好

收稿日期:2003-01-24;修回日期:2003-03-07

王亮,1971年出生,工程师,主要从事热等静压工艺、高性能钛合金粉末冶金及扩散连接技术等研究工作

的微观结构,晶粒细小,组织均匀,无析现象,性能可达到不低于锻件的水平<sup>[1,2]</sup>; (3) 用钛合金粉末冶金技术可制备高性能多功能钛基复合材料<sup>[3]</sup>。

目前,国外高性能钛合金粉末冶金技术已发展到较高水平,在航空航天等诸多领域已开始得到应用<sup>[1,3-6]</sup>。国内在钛合金粉末冶金技术方面也开展了不少工作,但对可用于关键结构件的高性能粉末钛合金技术的研究还不多。本文对采用钛合金预合金粉制备高性能钛合金的热等静压粉末冶金技术进行了研究,以下将简要介绍研究过程及结果。

## 2 试验

采用气体雾化法生产的球形 Ti - 6Al - 4V 预合金粉,经热等静压粉末冶金工艺制得粉末钛合金制件。具体工艺流程图如下:



### 2.1 设备

热等静压设备为 QIH—32 热等静压机,有效炉膛尺寸为 390 mm × 1200 mm,工作压力可达 160 MPa,分上、中、下三区对工作区温度进行测控。

### 2.2 原料粉准备

采用 3 种不同粒度的 Ti - 6Al - 4V 预合金粉,其成分及粒度见表 1。

表 1 Ti - 6Al - 4V 预合金粉成分、粒度

Tab.1 Chemical composition and mesh size of Ti-6Al-4V pre-alloyed powders

编号	预合金粉成分/ % (质量分数)							粒度 / μm
	C	N	H	O	Fe	V	Al	
1#	0.020	0.036	0.0047	0.130	0.100	4.160	6.350	< 425
2#	0.020	0.034	0.0050	0.140	0.120	4.040	6.300	75 ~ 150
3#	-	0.035	0.0050	0.130	0.110	3.880	6.740	< 150

### 2.3 粉末钛合金材料试样制备

#### (1) 包套准备

加工、焊接好 12 mm × 120 mm 的不锈钢包套, 宇航材料工艺 2003 年 第 3 期

将 Ti - 6Al - 4V 预合金粉在振动条件下均匀装入包套中,封好包套,留除气口。

#### (2) 除气

对装好粉的包套进行加热真空除气,焊封包套。

#### (3) 热等静压处理

将已除气的包套置入热等静压机中,在 900 °C、110 MPa 的条件下,保温保压 1 h,随炉冷却,出炉。

(4) 除去包套,得到预合金粉 Ti - 6Al - 4V 粉末钛合金制件。

## 2.4 测试分析

按 GB/T 229—1994 标准测试材料拉伸性能。用光学金相显微镜观察材料的金相组织。

## 2.5 粉末钛合金部件成型试验

采用热等静压包套成型技术,试制高性能钛合金汽车部件。

## 3 结果及讨论

(1) 用预合金粉工艺制备的 Ti - 6Al - 4V 粉末钛合金试样拉伸性能见表 2 (参照 GB/T 2965—1996 执行)。

表 2 Ti - 6Al - 4V 粉末钛合金试样拉伸性能

Tab.2 Tensile properties of Ti-6Al-4V PM alloy

编号	b	0.2	5	试样	
	/ MPa	/ MPa	/ %	/ %	状态
1#	1 000	955	12.6	26.3	热等静压
2#	1 010	969	14.0	33.9	热等静压
3#	1 040	981	15.4	39.6	热等静压
锻棒标准	895	825	10	25	标准热处理

从表 2 中可以看到,用预合金粉工艺制备的 Ti - 6Al - 4V 粉末钛合金试样拉伸性能已全面超过 TC4 锻棒的性能标准。不仅强度指标较高,而且对粉末冶金材料比较困难的塑性指标、均达到了较高水平,因此这种高性能粉末钛合金材料性能可达到锻件的水平,优于铸造钛合金。

三种不同粒度的预合金粉制备的粉末钛合金材料,从性能对比来看,均达到了较高水平,其中 2#、3# 试样的性能更好些。这三种预合金粉 N、H、O、Fe 等杂质成分含量相近,且都在材料标准允许范围之内。这说明,在预合金粉工艺中,如原料粉成分稳定

且满足材料标准对材料各组分的要求,可制备出高性能的粉末钛合金。预合金粉粒度对性能稍有影响,采用粒度  $< 150 \mu\text{m}$  和  $75 \mu\text{m} \sim 150 \mu\text{m}$  的预合金粉制备的粉末钛合金材料性能略高于采用粒度  $< 425 \mu\text{m}$  的预合金粉制备的材料。

(2) 预合金粉工艺制备的 Ti - 6Al - 4V 粉末钛合金试样典型金相照片见图 1。由图 1 可以看出其组织为较均匀的板条状 + 细小的 转变组织,表明这种材料有较好的塑性及良好的综合性能。

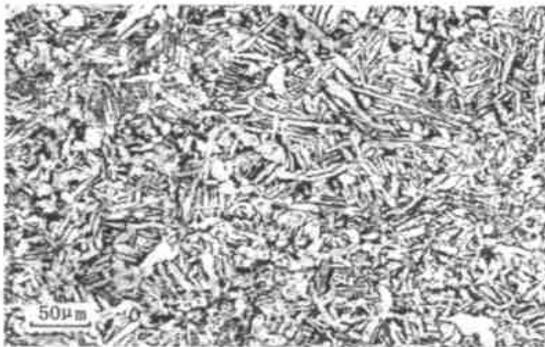


图 1 Ti - 6Al - 4V 粉末钛合金典型金相照片  
Fig. 1 Typical microstructure of Ti-6Al-4V pre-alloyed PM alloy

(3) 用近净成型工艺成功制备 Ti - 6Al - 4V 粉末钛合金汽车部件。图 2 为粉末钛合金连杆毛坯及成品图。通过合适的热等静压成型技术,用预合金粉工艺可实现粉末钛合金部件的近净成型。所制备的粉末钛合金部件可同时拥有高性能与低成本两大特点。



(a) 热等静压后的近净形毛坯



(b) 已加工成品

图 2 Ti - 6Al - 4V 粉末钛合金汽车零件样件

Fig. 2 Motor parts of Ti-6Al-4V PM alloy

#### 4 结论

(1) 预合金粉工艺可制备高性能粉末钛合金材料,其性能可达到锻件的水平。

(2) 合格的原料粉成分及好的稳定性是制备高性能粉末钛合金的基础,其粒度对粉末钛合金性能有一定影响。

(3) 用预合金粉工艺可实现钛合金部件的近净成型,从而可以用较低成本实现高性能钛合金部件的制备。

(4) 预合金粉工艺是一种高性能、低成本的钛合金部件制备技术,在这一领域内有良好的应用前景。

#### 参考文献

- 1 Eylon D, Froes F H, Parsons L D. Titanium PM components for advanced aerospace applications. *Met. Powder Rep.*, 1983; 38 (10) :567 ~ 571
- 2 Froes F H. Prealloyed titanium powder metallurgy barriers to use. *Int. J. Powder Metall.*, 1987; 23 (4) :267 ~ 269
- 3 Froes F H, Hebeisen J. Emerging and future applications for HIP of titanium based materials. In: Li Chenggong, Chen Hongxia, Ma Fukang eds. *Hot isostatic pressing conference proceedings, HIP '99*, Beijing: International academic publishers, 1999: 1 ~ 24
- 4 Rachuk V S, Goncharov N S, Martynenko Y A et al. Design, development, and history of the oxygen/ hydrogen engine RD-0 120, *AIAA 95-2 540*
- 5 Froes F H, Eylon D. Developments in titanium powder metallurgy. *J. Met.*, 1980; (4) :47 ~ 54
- 6 Sheinker A A, Chananic G R, Bohlen J W. Evaluation and application of prealloyed titanium P/M parts for airframe structures. *Int. J. Powder Metall.*, 1987; 23 (3) :171 ~ 179

(编辑 李洪泉)