

径向锻造 TC4 合金厚壁管材的工艺研究

谢仁沛, 冯永琦, 李渭清, 张永强, 乔恩利, 马 龙

(宝鸡钛业股份有限公司, 陕西 宝鸡 721014)

摘 要: 研究了用径向锻造方法制备 TC4 厚壁管材的生产工艺。研究表明, 用径向锻造方法制备 TC4 厚壁管表面质量好, 成品率高; 显微组织为转变的 β 相基体上均匀地分布着细小的等轴 γ 相, 比挤压方法制备的厚壁管组织要细; 其室温力学性能 σ_b 为 1 005 MPa, $\sigma_{0.2}$ 为 920 MPa, δ 为 14.5%, ψ 为 39%, 强度指标均高于挤压得到的 TC4 厚壁管, 塑性指标与挤压得到的 TC4 厚壁管相当。由于长芯棒制造难度较大, 要求精度高, 可尝试采用简易芯棒及无芯棒方法生产。

关键词: TC4 合金; 径向锻造; 显微组织; 挤压方法; 厚壁管

中图法分类号: TG306

文献标识码: A

文章编号: 1008-5939(2007)03-040-03

1 引 言

钛及钛合金以其低密度和高的比强度等优异性能被广泛用于航空航天领域^[1]。以典型的两相钛合金 Ti-6Al-4V(TC4)厚壁管代替钢管可以大幅度降低航空武器装备系统的结构质量。但是, 由于 TC4 合金变形抗力大, 加工硬化严重, 管材的加工难度比较大, 易开裂^[2]。采用传统的热挤压方式生产 TC4 合金厚壁管, 性能难以达到使用要求^[3]。宝鸡钛业股份有限公司锻造厂利用从奥地利引进的 SXP-13 精锻机进行了径向锻造生产 TC4 合金厚壁管材的工艺研究, 旨在探讨径向锻造 TC4 合金厚壁管的生产工艺, 为批量生产 TC4 合金厚壁管材工艺的建立提供可靠依据。

2 实 验

2.1 实验材料

采用宝鸡钛业股份有限公司熔铸厂经 2 次真空自耗电弧炉熔炼生产的 TC4 合金铸锭, 其化学成分符合 GB/T3620 标准要求。

2.2 实验设备

在 1 250 t 水压机上将铸锭锻成棒坯; 在 3 150 t 挤压机上挤制管坯; 在 SXP-13 精锻机上径向锻制 $\phi(58\sim96\text{ mm})\times L$ 的厚壁管; 在 TC4 合金径向锻造厚壁管上切取纵向、横向金相试样以及拉伸试样, 在金相显微镜上观察显微组织, 经热处理的拉伸试样在万能拉伸试样机上测试力学性能; 在超声波探伤仪上进行内部缺陷探伤; 锻造、挤压、精锻和热处理过程的加热均在电阻炉上进行。

2.3 工艺流程

根据 TC4 合金的加工性能的特点, 初步制定了 TC4 厚壁管材的制备工艺流程: 铸锭→锻造→挤压(管坯)→径向锻造→热处理→机加工→探伤→检验。

2.4 实验方案

径向锻造方法是一种少切削、金属利用率高、尺寸精度高的厚壁管材生产方法。用径向锻造法生产 TC4 合金厚壁管材采用的是长芯棒冷却锻造, 生产过程自动控制。锻造时, 将管坯套在

收稿日期: 2006-08-10

作者简介: 谢仁沛, 男, 1964 年生, 工程师, 宝鸡钛业股份有限公司锻造厂, 陕西 宝鸡 721014, 电话: 0917-3382508,

E-mail: xierenpei@sina.com

带冷却的芯棒上,并安装在夹头上。夹头边旋转边将芯棒和套在其上的坯料送入锻造箱中,管坯在芯棒上由4个垂头径向打击,完成变形。带有锥度的芯棒借助于2个液压缸,实现了前进、后退动作,并且芯棒心部通有循环冷却水,其作用是为了保护芯棒表面不被破坏,有利于芯棒脱出。与此同时芯棒要产生震动,设备有弹簧减震装置可以锁定。芯棒预热且涂敷水溶性润滑剂,以利于脱模。根据工件的变形量编制锻造程序,并输入至CNC数控系统试运行,达到设计要求后加热坯料,进行径向锻造。径向锻造工件的变形示意图见图1。

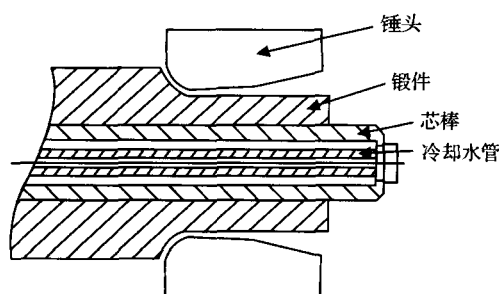


图1 径向锻造TC4合金厚壁管变形示意图

Fig.1 Schematic diagram of TC4 alloy thick-wall tube forged along radial direction

3 结果与讨论

3.1 径向锻造TC4合金厚壁管材的表面质量和外形尺寸

采用径向锻造方法生产的TC4合金厚壁管材

表面无裂纹,几何形状规则,直线度高。其径向锻造TC4合金厚壁管材的实物照片见图2。

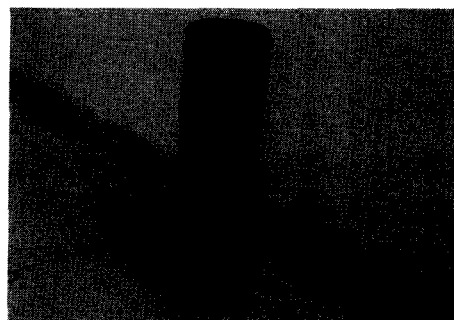


图2 径向锻造TC4合金厚壁管材的实物照片

Fig.2 Photo of material object of TC4 alloy thick-wall tube forged along radial direction

3.2 径向锻造TC4合金厚壁管的显微组织

径向锻造TC4合金厚壁管的横向和纵向显微组织见图3。由图3可知,径向锻造TC4合金厚壁管的显微组织为在转变的 β 相基体上均匀地分布着细小的等轴 α 相。由于径向锻造的变形量足够大,因此,使得晶粒得到了细化。而等轴的 α 组织越细,TC4合金的塑性越好,疲劳强度越高,且工艺性能越稳定。

而用挤压方法生产的TC4合金厚壁管材显微组织基本为两相加工组织。虽然挤压过程中管坯也是处于三向压应力状态,但是晶粒沿着受力方向被压扁、拉长,晶粒未得到充分破碎。因此,挤压方法生产的TC4合金厚壁管组织不如径向锻造的组织好。

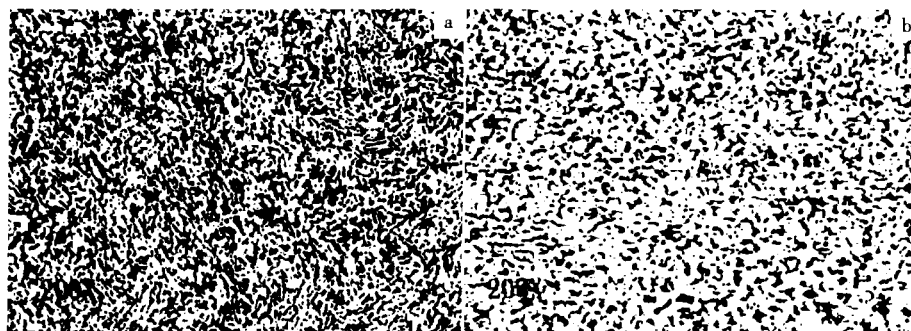


图3 径向锻造TC4合金厚壁管金相照片

Fig.3 Metallographs of TC4 alloy thick-wall tube forged along radial direction: (a) cross section and (b) lengthwise section

3.3 挤压和径向锻造制备的 TC4 合金厚壁管力学性能对比

挤压和径向锻造制备的 TC4 合金厚壁管经过 750 ℃, 1 h(空冷)热处理后, 测试了室温力学性能, 其结果见表 1。

表 1 径向锻造和挤压制备的 TC4 合金厚壁管室温力学性能
Table 1 Mechanical properties at room temperature of TC4 alloy thick-wall tube by extruded and forged along radial direction

室温力学性能	σ_b /MP	$\sigma_{0.2}$ /MP	δ /%	ψ /%
锻造厚壁管	1 000	915	15	39
	1 010	925	14	39
挤压厚壁管	930	885	14	39
	950	905	16	39

由表 1 可以看出, 锻造得到的厚壁管材的强度指标要比挤压得到的厚壁管材有一定的提高, 而塑性指标未得到明显改善。管材经 750 ℃, 1 h(空冷)热处理之后, 发生了再结晶, 使管材的综合性能得到了改善, 其强度和塑性指标均能满足

相关技术条件要求。

4 结 论

(1) 用长芯棒冷却法径向锻造 TC4 合金厚壁管(厚度为 15~20 mm), 可得到更均匀细小的 $\alpha+\beta$ 两相组织及优良的综合力学性能。

(2) 在精锻机上锻制的 TC4 合金厚壁管, 表面质量好, 成品率高。

(3) 由于长芯棒制造精度要求高, 因此, 可尝试采用简易芯棒及无芯棒(增壁)等方法生产厚壁管。

参考文献 References

- [1] Qu Henglei(曲恒磊), Zhou Lian(周 廉), Zhou Yigang(周义刚), et al. 高强韧钛合金评述[J]. *Rare Metals Letters* (稀有金属快报), 2004, 23(10): 5~9
- [2] Lin Yongxin(林永新). 钛及钛合金管材生产技术现状[J]. *Rare Metals Letters* (稀有金属快报), 2005, 24(2): 1~2
- [3] Wang Yanshan(王焱山). *Forging Handbook* (锻压手册)[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1993

Radial Forging TC4 Titanium Alloys Thick-Wall Tube

Xie Renpei, Feng Yongqi, Li Weiqing, Zhang Yongqiang, Qiao Enli, Ma Long
(Baoji Titanium Industry Co., Ltd., Baoji 721014, China)

Abstract: The process for preparing TC4 thick-wall tube by radial forging was studied. The results show that the TC4 thick-wall tube prepared by radial forging has good surface quality and higher yield, where the microstructure is fine axed (a) dispersed uniformly on the (b) matrix, which is finer than that of by extrusion. The mechanical properties at room temperature are follows: 1 005 MPa of the tensile strength, 14.5% of the elongation, 39% of the fracture shrinkage, 920 MPa of the yield. All strength index is higher than that of by extrusion, the plastic index is equal to that of by extrusion. It is difficult to manufacture shaft core because of high accuracy, one can try to use the process with simple or without shaft core.

Keywords: TC4 alloy; radial forging; microstructure; extrusion method; thick-wall tube

Biography: Xie Renpei, Engineer, Forging Plant, Baoji Titanium Industry Co., Ltd., Baoji 721014, P.R. China,
Tel: 0086-917-3382508, E-mail: xierenpei@sina.com