

Ti-6Al-4V 合金热挤压管材工艺研究

Study on Hot Extrusion Technology for Ti-6Al-4V Alloy Tube

陕西宝鸡钛业股份有限公司 颜 苏

[摘要] 本文研究了 Ti-6Al-4V 钛合金铸锭制备工艺、挤压工艺对其组织性能的影响,确定了 Ti-6Al-4V 钛合金的加工工艺路线及参数,研制出的产品满足相关技术标准的要求。

关键词: Ti-6Al-4V 钛合金 组织 性能

[ABSTRACT] The effects of ingot production technology and extrusion technology on structure and properties for Ti-6Al-4V are studied, and the process route and parameters of Ti-6Al-4V alloy are determined. The final products satisfy the associated technology and standard requirements.

Keywords: Ti-6Al-4V alloy Structure Property

Ti-6Al-4V 合金是世界各国通用的典型的 ($\alpha + \beta$) 型两相钛合金,具有较高强度和适中的塑性,还具有许多优良特性,随着航空用材选材判据的变化,要求材料具有优良组织性能。我国对这两相钛合金热挤压管材的工艺研究很少,本课题介绍航空用 Ti-6Al-4V 合金不同挤压工艺对组织性能的影响。分析比较表明,采用 β 区淬火再进行两相区挤压可以使挤压管材的综合性能较 β 区挤压得到提高,挤压管材性能基本达到研制标准要求。通过本次研制的结果可以认为在两相钛合金的 β 相变温度附近进行挤压,并制订较为合理的挤压工艺参数,利用动态再结晶原理可以有效地细化晶粒,即可保证材料的综合性能。

1 试验方法

1.1 铸锭制备及化学成分

铸锭经切帽口、去氧化皮后,铸锭的直径为 620mm,在 1250t 水压机上进行 β 区锻造。工艺如下:

(1) 铸锭——1100℃ 沿轴向拔长到 290mm 左右的多棱棒——1050℃ 甩圆 ϕ 260mm 空冷;

(2) 铸锭——1100℃ 沿轴向拔长到 320mm 左右的多棱棒——1050℃ 甩圆 ϕ 300mm 空冷。

化学成分见表 1。

1.2 工艺方案

工艺 A: ϕ 260mm 挤压筒 (β 挤压) —— 矫直——

表1 铸锭化学成分

w/%

位置	Al	V	Fe	O	C	N	H	相变点/℃
上	6.2	4.18	0.07	0.12	0.02	0.009	0.003	980 ~ 990
中	6.2	4.18	0.07	0.12	0.02	0.010	/	
下	6.2	4.11	0.06	0.12	0.01	0.010	/	

机加工;

工艺 B: β 区水冷——950℃ ϕ 260mm (两相区挤压) ——矫直——机加工;

工艺 C: β 区水冷——950℃ ϕ 300mm (两相区挤压) ——矫直——机加工。

挤压筒、管材规格及挤压比见表 2。

表2 挤压筒、管材规格及挤压比

工艺	挤压筒规格/mm	管材规格/mm	挤压比
A	ϕ 260	ϕ 160 × 28	3.64
B	ϕ 260	ϕ 170 × 36	2.28
C	ϕ 300	ϕ 170 × 36	3.90

2 结果与讨论

2.1 棒坯的组织

不同温度和热处理下的棒坯组织的放大照片如图 1、图 2 所示。2 种规格棒坯的锻造工艺基本相同,高倍组织也基本相似;从低倍组织上看,都为粗大的清晰晶,高倍组织为完整的原始 β 晶界 + ($\alpha + \beta$) 片状组织。棒坯经机加方法分别加工成符合挤压管材用的锭坯,其中工艺 B、C 试验用料内外层表面各留 5mm 加工余量,进行 1050℃ / 20min 水淬处理,经 β 淬火后再通过机加工方式得到挤压管材用锭坯。

2.2 几种不同工艺挤压管材的力学性能

从几种不同工艺室温拉伸性能比较上看(见表 3),挤压锭采用 β 区淬火 + 两相区挤压,虽然工艺 B 挤压比要小于工艺 A,但是室温强度要好于工艺 A,强度提高了 30MPa 左右,而延伸率稍有降低、断面收缩率略有提高,因此可以认为工艺 A 与工艺 B 挤压管材的拉伸塑性相当。这是由于 $\alpha + \beta$ 两相钛合金的强度和热强



图1 ϕ 260mm锻棒高倍照片 (轴向)
Fig. 1 Image of ϕ 260mm forged bar (axial)

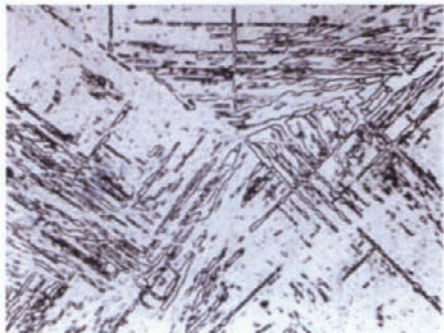


图2 ϕ 260mm锻棒1050°C / 20min水淬处理
高倍照片 (轴向)
Fig. 2 Image of ϕ 260mm forged bar under
1050°C/20min water quenching (axial)

表3 挤压管不同温度下的力学性能

工艺	σ_b /MPa (室温/400°C)	$\sigma_{0.2}$ /MPa (室温/400°C)	δ_5 /%	ψ /%
工艺A	925/605	845/525	17/18	27/51
工艺B	940/635	915/550	13/15	30/45
工艺C	990/680	975/605	15/17	38/56
标准要求	895/320	825/-	10/12	20/40

性能建立在固溶强化和沉淀强化的基础上,主要是两相的复合强化作用,在 β 区挤压过程中参与变形的是 β 晶粒,在挤压比较小的情况下,最终组织粗大,性能恶化。而采用 β 区淬火后再经两相区挤压,可使晶粒细化的同时获得一定的固溶强化和沉淀强化,从而使强度提高。工艺 C 挤压管材不仅强度比工艺 B 挤压管材强度高,而且塑性指标也有不同程度的提高。

从几种不同工艺挤压管材 400°C 纵向拉伸性能(表 3)可以看出,工艺 B 挤压管材的强度比工艺 A 提高了将近 30MPa,断面收缩率和延伸率分别下降了 6% 和 3%,工艺 B 挤压管材的 400°C 纵向拉伸性能勉强达到标准要求,工艺 C 挤压管材比工艺 B 挤压管材的 400°C 纵向拉伸强度提高了 50MPa,而断面收缩率和延伸率基本

达到工艺 A 挤压管材的水平。一般认为,两相钛合金的片状组织的粗细对拉伸塑性值的影响非常显著,片状组织越粗大,塑性下降的越多,而强度的变化量不大,一般在 10% 以内。工艺 B 的挤压比相对其他 2 种工艺要小得多,挤压管材各部位金属的变形量要更加不均匀,使挤压锭坯中层金属的冷却速度比较慢,晶格畸变小,最终使晶粒破碎的程度不足。研究表明,在两相区挤压要比在 β 区挤压有更好的高温、室温拉伸强度^[1],本次试制结果也能说明这一点。

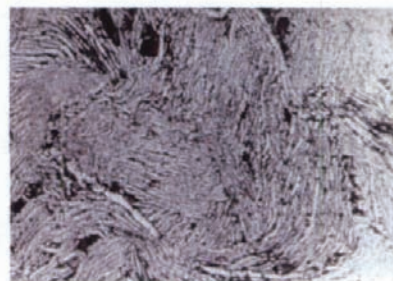
2.3 几种不同工艺挤压管材的组织

工艺 A、B、C 下的挤压管材组织如图 3 所示。工艺 A 挤压管材的组织有相对明显的加工痕迹,由于 Ti-6Al-4V 合金的导热率低,外层金属的冷却速度要大于内层金属的冷却速度,随着冷却速度的降低,会促使变形的 β 晶粒的再结晶和从 β 晶粒析出 α 晶粒的长大,而使最终组织粗大。

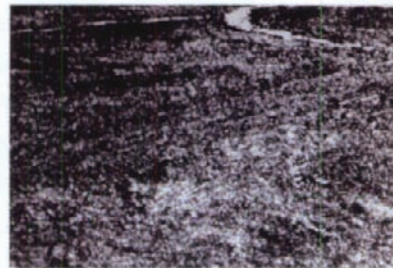
工艺 B 和 C 在挤压前对挤压锭坯进行 β 相区温度淬火处理的主要目的是使挤压锭坯形成过饱和固溶体



(a) 工艺 A



(b) 工艺 B



(c) 工艺 C

图3 不同工艺下的挤压管材组织

Fig. 3 Extruded tube structure under different processes

(下转第 78 页)

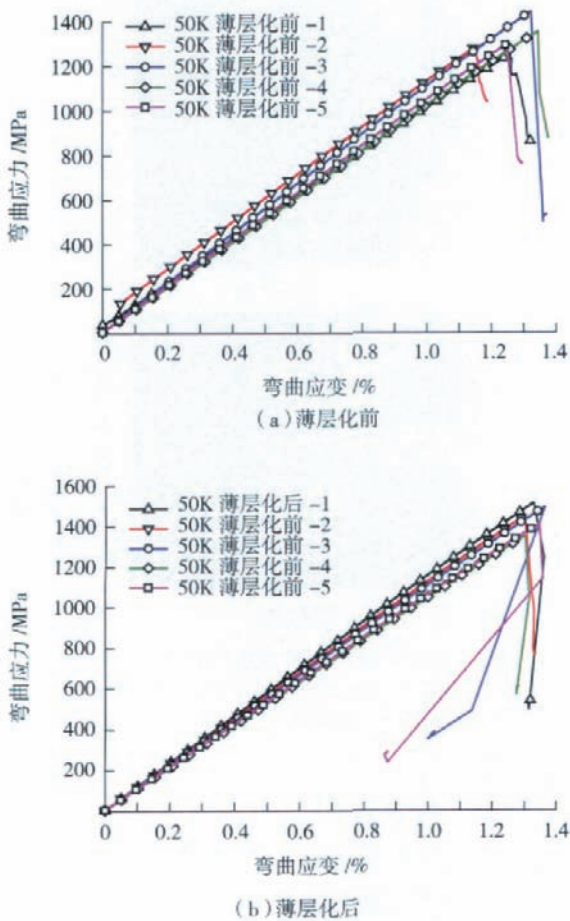


图6 薄层化前后50K碳纤维应力-应变曲线

Fig. 6 Stress-strain curves of 50K carbon fiber before and after spreading

3 结论

(1) 对 12K 和 50K 大丝束碳纤维, 利用自制的薄层化装置均可以得到较理想的薄层化效果。

(2) 薄层化后, 大丝束碳纤维预成型体渗透率降低至原来的 0.47 倍, 但渗透均匀性有明显提高。

(3) 薄层化后大丝束碳纤维增强复合材料内部缺陷更少或更小, 纤维-树脂分布均匀性提高; 复合材料弯曲模量和弯曲强度均有提高, 且性能分散性更小。

参考文献

[1] 青联复合材料. 复合材料综述. <http://www.qinglianfrp.com/Article/news/200505/7.html>.
 [2] 邢声远. 高强高模的碳纤维. <http://www.bjcp.gov.cn/bjcpzcdesh/ssxf/fztd/xwjz/19675.shtml>.
 [3] 王曼霞, 赵稼祥. 碳纤维的发展, 问题与对策. 玻璃钢 / 复合材料, 2000(1): 48-51.
 [4] 于翘, 陈万金, 罗焱. 值得重视的复合材料研究新动向. 宇航材料工艺, 1999(1): 7-11.
 [5] Ronald G K, Braunfels T X. Apparatus and method for spreading

fibrous tows into linear arrays of generally uniform density and products made thereby: United States Patent, 6311377 B1. 2001-11-06.

[6] Peritt J M, Everett R, Edelstein A, et al. Electrostatic fiber spreader including a corona discharge device: United States Patent, 5200620. 1993-04-06.

[7] Lifke J L, Busselle L D, Finley D J, et al. Method and apparatus for spreading fiber: United States Patent, 6049956. 2000-04-18.

[8] Iyer S, Lansing E, Drzal L T, et al. Method and system for spreading a tow of fibers: United States Patent, 5042122. 1991-08-27.

[9] Sihna S, Kima R Y, Tsai S W, et al. Experimental studies of thinly laminated composites. Composites Science and Technology, 2007(67): 996-1008.

[10] Tsai W, Sihna S, Kim R Y, et al. Thin ply composites. 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics & Materials Conference 18-21, Austin, Texas, 2005.

[11] 罗云烽, 孙永春, 段跃新, 等. 大丝束碳纤维薄层化技术. 复合材料学报, 2010, 27(1): 123-128. (责编 良辰)

(上接第 74 页)

组织, 为挤压锭坯在挤压前的加热及挤压变形提供再结晶的驱动力, 产生大量的新晶粒而使原始组织及最终的挤压加工组织细化。两相合金在两相区温度内加热与在 β 相区温度加热不同, 由于有 α 晶粒和 β 晶粒相互限制, 组织长大不严重^[2]。

在 Ti-6Al-4V 合金两相区温度内挤压, α 相和 β 相都参与变形, 在挤压变形过程中, 合金中的两相组织都沿变形方向被拉长、压扁, 随着变形量的增加, 从金相照片所观察到组织的这种变形形态更加明显, 另外在两相区挤压过程中由于产生变形热及挤压模具对合金的散热的共同作用, 会使变形金属的温度发生变化, α 相和 β 相在变形的同时随温度的升高 α 相将转变为 β 相, 随温度的降低将有更多的 α 相从 β 相中析出, 而且 α 相和 β 相在变形过程中都会发生不同程度的动态再结晶, 影响组织形貌。

3 结论

(1) 采用两相区挤压工艺, 成功地制备出符合标准要求的 Ti-6Al-4V 合金挤压管材。

(2) 采用 β 区预淬火 + 两相区挤压可以使挤压管材的综合性能较 β 区挤压得到提高。

参考文献

[1] 亚力山大 B K 著, 宁兴龙 译. 钛合金半成品. 宝鸡: 宝鸡有色金属研究所出版社, 1984: 135-140.
 [2] 杜春青, 王宗贞. TC11、TC4、IMI679 合金 β 晶粒长大倾向性的研究 // 第六届全国钛及钛合金学术交流会文集 (2), 西安, 1987: 127.

(责编 侧卫)