

发动机用 TC4 钛合金轧盘工艺^①

杨文甲

(沈阳有色金属加工厂)

摘 要

对发动机三、四、五级盘料用的TC4轧盘工艺进行了研究,确定了“4-1-4”制等延伸系数轧盘方法;还研究了盘材的退火制度及(O+N)杂质含量对轧盘性能的影响。

“4-1-4”制等延伸系数轧盘工艺在设计上有其独到之处。用它制取的盘材,组织和性能均优于锻盘,质量指标可与国内外同类产品媲美。

关键词: TC4钛合金, 轧盘, 等延伸系数。

TC4 钛合金是应用最广, 产量较大的 $\alpha+\beta$ 型合金。该合金具有良好的综合性能和用作航空发动机的压缩机盘以及叶片等。^[1]但对像“910”发动机的三、四、五级盘体等大直径坯料, 采用自由锻方式很难保证产品质量, 且金属利用率小, 生产效率低, 因此有必要试验研究新的轧盘工艺。

1 试验研究方法

1.1 试验设备

本试验采用的主要设备有: $d 500 \times 864$ mm 二辊可逆式热轧机、宽板退火炉和马弗炉。

1.2 试验材料

生产和试验用的材料为我厂自生产的

TC4 钛合金铸锭, 经两次退火锻成 $d 400 \times 80$ mm 锻盘, 其化学成分和物理力学性能列在表 1 和表 2 中。

2 试验工艺方案

本试验是结合十批不同盘材的生产任务同时进行的, 其工艺方案如下:

(1) 按表 3 设计轧盘工艺, 按表 4 设计“4-1-4”制延伸系数轧盘工艺。

(2) 用数理统计法分析杂质 (O+N) 含量 (wt.-%) 对盘材性能的影响, 找出其规律性。

(3) 每批取一个盘材做 700、750、800、850、900、950 °C 空冷退火试验(保温 60 分钟), 找出轧盘的最佳退火工艺。

表 1 试验用材的化学成分(wt.-%)

批号	主成分			杂 质					
	Al	V	Ti	Fe	Si	N	C	O	H
4D9	5.97	4.22	余量	0.138	<0.15	0.0161	<0.10	0.168	0.005
3D15	5.83	3.90	余量	0.220	<0.15	0.0035	<0.10	0.137	0.002
4D11	5.93	4.13	余量	0.090	<0.15	0.0175	<0.10	0.080	0.002

①于 1992 年 2 月 20 日收到

表2 锻盘室温性能

批号	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\delta_5\%$	$\varphi\%$	HBd (mm)	a_k (J/cm ²)	退火工艺
4D9	921	882	12.0	39	3.50	45.10	7.50℃ / 60', Ac
3D15	901	862	14.0	40	3.49	46.10	7.50℃ / 60', Ac
4D11	872	804	15.0	43	3.60	58.80	7.50℃ / 60', Ac

表3 轧盘工艺设计

轧盘方法	工艺特点
3-3等压下制	三道次为轧组, 每轧组的压下量相等, 每道次后盘材转动120°再轧
4-4等压下制	四道次为一轧组, 每轧组的压下量相等, 每道次后盘材按90°、45°转动再轧
4-4等延伸制	四个道次为一轧组, 每轧组的延伸系数相等, 每道次后盘材按90°、45°转动再轧
4-1-4等延伸制	四个道次为一轧组, 每组的延伸系数相等, 每道次后盘材按90°45°转动再轧, 每组轧完要翻料一次。

表4 “4-1-4”等延伸制轧盘工艺($d 616 \times 30$ mm)

道次	轧前厚度 (mm)	轧后厚度 (mm)	压下量 Δh (mm)	延伸率 (%)	道次加工率 (%)	转角度
1	75	65	10	11.5	13.3	0°
2	65	56	9	11.5	13.8	90°
3	56	49	7	11.5	12.5	45°
4	49	43	6	11.5	12.2	90°
5	43	39	4	11.0	9.3	45°
6	39	35	4	11.1	11.4	90°
7	35	32	3	11.0	8.6	45°
8	32	30	2	10.7	6.3	90°

据图1选取加热温度为940℃, 以控制初晶析出(α_c , 在此下标c表示初次)和 β 转变量。

3 试验结果

以本次试验测得的数据和历年生产积累的数据相结合, 绘制出杂质(O+N)含量(wt.-%)与TC4轧盘性能关系曲线(图2)。退火温度与轧盘性能的关系曲线(图3), 部分轧盘的性能见表5。锻、轧盘材的金相组织和断口形貌观

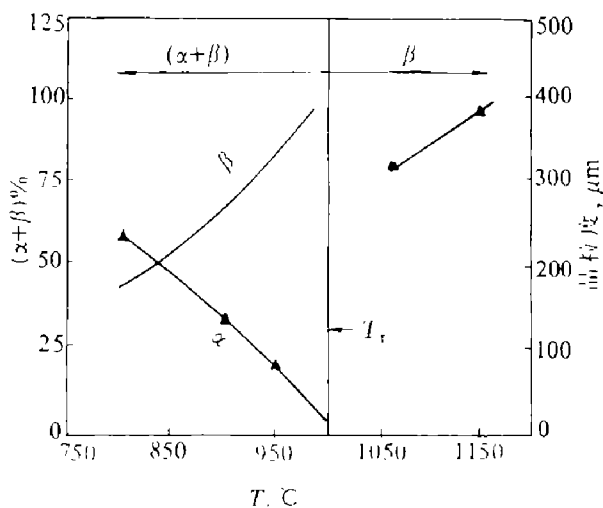


图1 α 和 β 相所占%及 β 晶粒度随加热温度(T)的变化关系

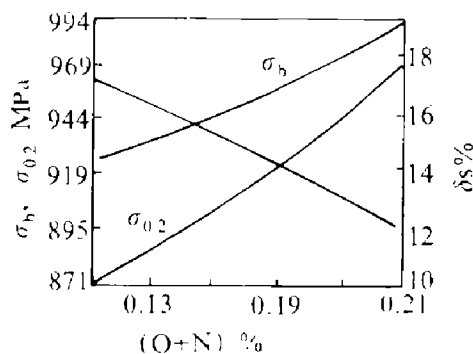


图2 (O+N)%含量对TC4轧饼性能的影响

察结果分别见图 4-5。

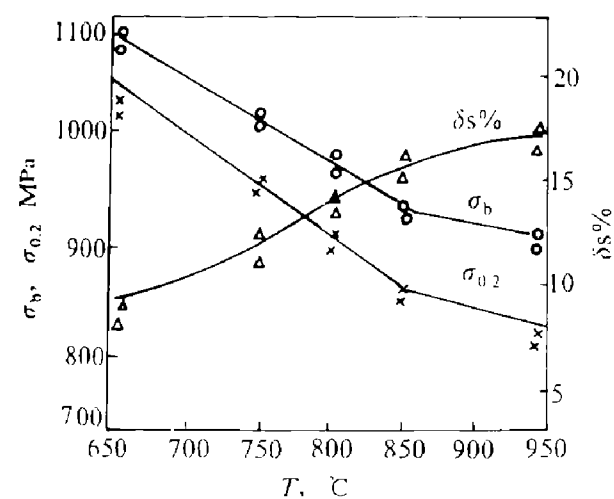


图3 退火温度 T 对 TC4 轧饼室温性能的影响

4 试验结果的分析与讨论

4.1 杂质(O+N)含量(wt.-%)对 σ_b 有明显影响

以表 1 中知道 4D9 炉料的杂质(O+N)含量为 0.174，比 4D11 炉料的高一个数量级。这两个炉号中的 Al、V 等合金元素含量十分

接近，而两者的轧盘强度相差 60.4 MPa，这说明杂质含量对盘材性能影响甚大。众所周知，杂质氧、氮是稳定 α 的元素，主要固溶在 α -Ti 中，能提高 α -Ti 的强度。TC4 合金中的 α 相约占 70%，故(O+N)杂质含量增高会导致基体强度增加是不难理解的，且强化规律符合图 2 中曲线变化关系。

4.2 “4-1-4”制等延伸轧盘方法比较科学

“4-1-4”制等延伸系数轧盘方法较“3-3”“4-4”等压下制、“4-4”等延伸制等设计方法科学。实践证明，前者所轧制的盘材在形状规上测得的精度比后者高 2 倍以上，且能减少边缘损失 3-7%，这显示了“4-1-4”制等延伸系数轧盘设计方法的独到之处和科学性。至今此法仍被用来生产各种不同规格的钛及其合金的管材、板材。用其它三种轧盘方法轧制的盘材常出现表面不平，上边缘尺寸大于下边缘尺寸等低质量产品。而“4-1-4”制轧盘方法中每个轧组轧完后翻料一次，这一过程有利用克服用其它轧盘时出现的板形不良等缺点。

表5 轧盘性能

炉号	规格 (mm)	取样 部位	室温性能						400℃性能			
			σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ_s (%)	φ (%)	HBd (mm)	a_k (J/cm ²)	σ_b (MPa)	δ_s (%)	φ (%)	σ (MPa). 568 h
4D9	$d616 \times 30$	弦向	982.4	957.5	14.3	39	3.58	46	642	15	59	100 m
3D15	$d630 \times 38$	弦向	957.4	928	15	42.7	3.50	48	627	16	61	100 m
4D11	$d610 \times 38$	弦向	922	858	14	42	3.61	56.8	622	16.5	64	100 m
技术要求		弦向	902	实测	10	30	3.30	29.4	617	实测	实测	100 m

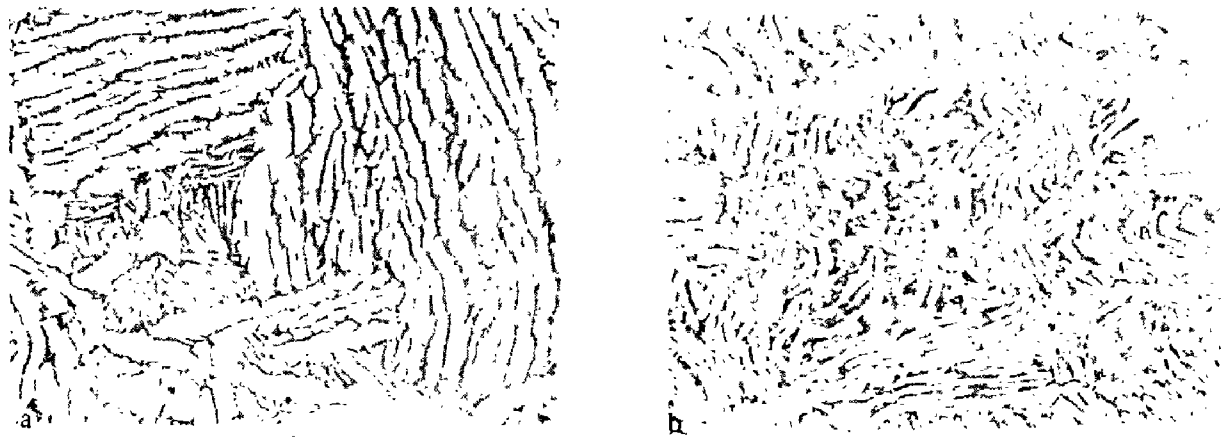
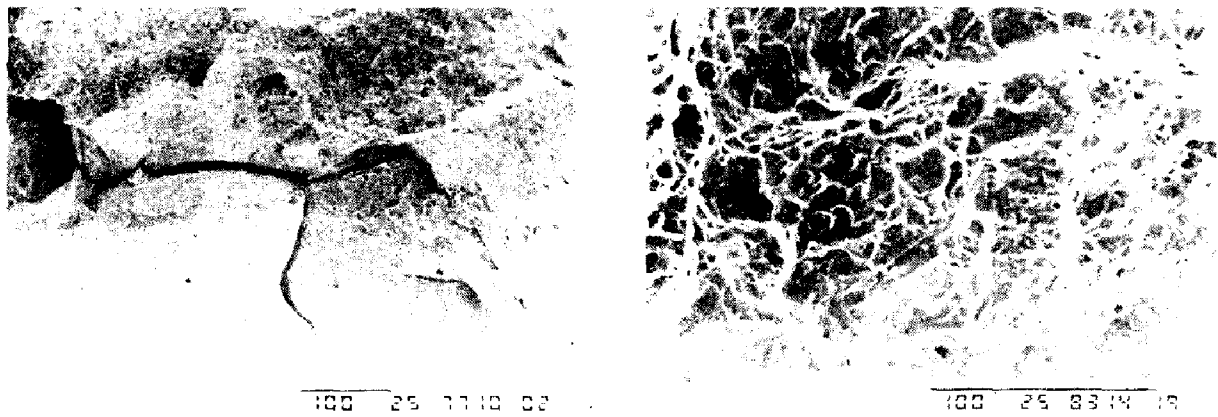


图4 锻、轧盘显微照片，×250

(a) 锻盘；(b) 轧盘

图5 轧盘冲击断口照片, $\times 500$

4.3 轧盘的最佳退火工艺是 820°C , 60 min, AC

盘材的技术要求是 σ_b 为902 MPa, $\delta_1\%$ 为10%。为了满足这一性能要求, 用 820°C , 60 min AC退火时, 应使盘材的各项性能有机匹配。从图5(b)的金相照片看到, 用该退火工艺得到的组织约有25%为块状 α_c 晶, 75%为呈针状分布的 β 转变组织。在该退火过程中没有发生再结晶, 若把退火温度提高 85°C 以上查发生部分再结晶, 材料的性能特点是 σ_b 和 $\sigma_{0.2}$ 均有一定程度的降低, 而 Q_k 值提高较明显。从图5(a)中见到, 在冲击负荷下, 这种组织的裂纹扩展常发生较大偏转, 并因分叉而形成次生裂纹。由于这种裂纹扩展方式使裂纹总长度的增加所需要的冲击功更大, 故冲击值高。

5 结论

(1) “4-1-4”制等延伸系数轧盘工艺的精度高, 金属利用率提高20%以上, 可用来轧制钛合金管板;

(2) 轧盘的组织与性能均优于锻盘;

(3) 杂质(O+N)含量(wt.-%)的增加能显著提高TC4钛合金的强度, 生产TC4轧盘时, (O+N)的含量不应低于0.1 wt.-% 否则易, 出现强度偏低问题;

(4) 轧盘采用 820°C 、60 min退火工艺, 其性能可满足技术要求。

参考文献

- 1 E. A. 鲍利索娃等著, 《钛合金金相学》, 陈石卿编, 北京: 国防工业出版社, 1986, 246

(上接 P90)

参考文献

- 1 Outohumpu unimec company, Copper upcast. (Finland)

- 2 Alfred Wertli LTD: Horiyontal contiinous carting
- 3 上海电缆研究所: 漆包线测试报告
- 4 中国国家标准: GB468—83
- 5 中国国家标准: GB6109.2—85 (聚酯漆包线国家标准)