

飞机结构用 TC11 钛合金异型锻件的组织与性能

白晓环, 冯永琦, 王伟琪, 王永强, 徐祝萍

(宝鸡有色金属加工厂, 陕西 宝鸡 721014)

摘 要: 介绍了在工业化条件下, 通过合理的工艺路线锻制 TC11 合金异型锻件。并进行了不同热处理制度下异型锻件的组织和性能试验研究。结果表明: 采用 950℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷热处理后的锻件的显微组织为均匀的 $\alpha + \beta$ 组织, 且有较好的综合室温力学性能, 其室温性能为: σ_b : 1050 MPa~1100 MPa, $\sigma_{0.2}$: 950 MPa~1020 MPa, δ_5 : 15%~18%, ψ : 32%~36%, a_{ku} : 45.7 J/cm²~51.7 J/cm², 其它各项技术性能也符合协议标准要求, 满足航空部门需求。

关键词: 飞机结构; TC11 钛合金; 异型锻件; 组织; 性能

1 前 言

TC11 钛合金是一种 Ti-Al-Mo-Zr-Si 系马氏体型 $\alpha + \beta$ 两相钛合金, 它不仅具有较高的室温、高温拉伸和蠕变强度, 还具有良好的工艺性能, 可进行热加工、焊接和各种形式的机加工等, TC11 钛合金生产的产品有棒材、环材、锻件和模锻件等。主要用于制造航空发动机压气机盘、叶片和鼓筒等零件, 也可用于制作飞机结构件。

航空发动机用零件的热处理一般采用双重退火工艺制度(950℃, 1 h~2 h 空冷 + 530℃, 6 h~8 h 空冷, 或首次退火温度允许在 β 相变点以下 30℃~50℃ 范围内作适当调整)。为了满足飞机结构用 TC11 钛合金异型锻件的市场需求, 宝鸡有色金属加工厂研制和开发了该合金飞机结构用 TC11 合金异型锻件(如图 1 所示), 该锻件的组织和性能符合协议标准的要求, 满足了航空市场需求。

2 研发过程

研制用料选择真空自耗熔炼的直径为 720 mm, 重 3 t~5 t 的 TC11 钛合金铸锭, 其化学成分为(质量分数): Al: 5.8%~7.0%, Mo: 2.8%~3.8%, Zr: 0.8%~2.0%, Si: 0.2%~0.35%。铸锭的相转变温度为 990℃~1000℃, 铸锭开坯选用 β 相区进行, 经多次的中间锻造, 制成一定尺寸的坯料, 最终在两相区锻制成异型锻件。为了探索热处理工艺对

锻件组织性能的影响, 测试对比了经 950℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷、970℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷、1020℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷的不同制度热处理后的组织和性能。在此基础上, 对成品锻件进行了热处理, 并进行了组织和性能测试。



图 1 TC11 钛合金锻件

3 组织与性能

3.1 热处理制度对组织和性能的影响

锻件试样分别经 950℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷、970℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷、1020℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷后的显微组织和室温力学性能见图 2 和表 1。

从图 2 可见, 经 950℃~970℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷处理后的显微组织均为等轴初生 α

+ β 相组织且都比较均匀, 见图 2a 和图 2b; 而经 970℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷热处理的显微组织中 β 相组织体积略有增加, 见图 2b, 但初生 α 含量较

图 2a 中略有减少, 且体积略有增大。经 1020℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷热处理的组织为典型的 β 区冷却后针状马氏体组织, 见图 2c。

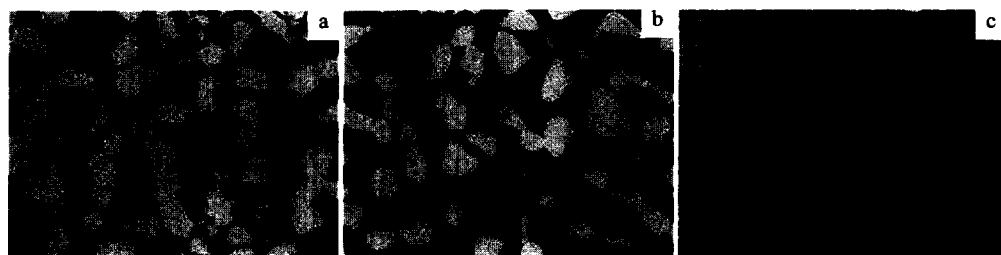


图 2 TC11 钛合金异型锻件不同热处理的显微组织 (×500)

(a) 950℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷; (b) 970℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷; (c) 1020℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷

表 1 不同热处理制度异型锻件的力学性能

热处理制度	室温力学性能				
	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ψ /%	$a_{kv}/J \cdot cm^{-2}$
950℃, 2 h AC + 530℃, 8 h AC	1040	920	16	49	62
	1040	910	15	51	59
970℃, 2 h AC + 530℃, 8 h AC	1060	895	13	46	59
	1060	900	14	47	56
1020℃, 2 h AC + 530℃, 8 h AC	1050	860	10	17	70
	1040	865	9	21	63
协议标准	≥980	≥830	≥6	≥14	≥30

从表 1 可以看出, 经 3 种热处理制度处理后, 其室温力学性能均可达到协议标准的要求, 随着固溶温度的升高, 强度指标变化不大, 而塑性指标降低。这是因为, 随着固溶温度的升高, 初生 α 含量减少的缘故。综上所述, 选择 950℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷热处理后得到的组织是我们期望的组织, 并且可以保证强度指标和塑性指标有较佳的配合。为此, 可确定成品锻件的热处理制度为 950℃, 2 h 空冷 + 530℃, 8 h 空冷。

3.2 成品锻件的组织与性能

成品锻件经 950℃, 2 h AC + 530℃, 8 h AC 热处

理后的组织与性能见图 3 和表 2。图 3 分别为壳体筒底、筒壁上部和筒壁下部的显微组织, 从图中可见, 锻件不同部位的显微组织比较均匀, 均为比较均匀的典型初生 α + β 两相区加工组织, 符合协议标准的要求。

表 2 为锻件的室温和高温力学性能, 从表 2 和图 3 可见, 由于锻件各部位组织十分均匀, 因此各部位各项性能也均匀良好, 完全符合协议标准的要求, 并且达到 GJB2744-96 (航空用钛及钛合金自由锻件及模锻件规范) 的技术要求。

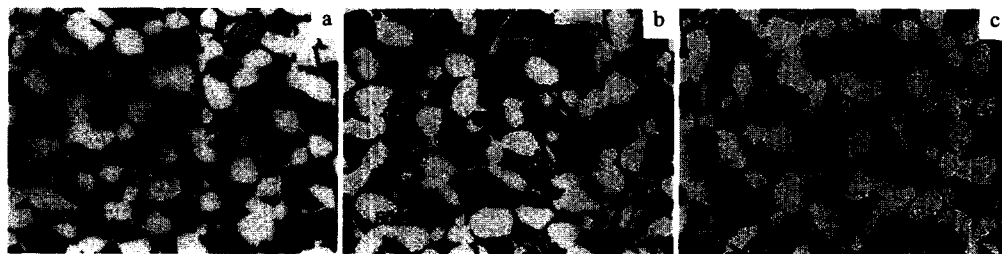


图 3 成品锻件不同部位的显微组织 (×500) (a) 筒底; (b) 筒壁上部; (c) 筒壁下部

4 与国外同类产品质量对比

图 4 为俄罗斯生产的同类锻件的显微组织, 表 3 为中、俄生产的锻件实测性能比较。从图 3、图 4

和表 3 可以看出, 工厂研制的飞机结构用异型锻件 的组织、性能不低于俄制锻件实物水平。

表 2 成品锻件的力学性能

温度/℃	技术条件	取样部位	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ψ /%	α_{ku} /J·cm ⁻²	HB (d) /mm
20		壁纵向	1100	1020	18	36	45.7	3.37
			1090	1020	18	36	51.7	3.34
		底弦向	1050	990	15	32	/	/
			1090	950	17	36	/	/
20	协议标准	底弦向、壁纵向	≥980	≥830	≥6	≥14	≥30	3.2~3.7
20	GJB2744-96		≥1030	≥910	≥8	≥23	≥29.5	3.2~3.7
500		壁纵向	750		19	57		
			740		17	55		
500	协议标准	壁纵向	≥685		≥12	≥40		

注: 成品锻件的 500 ℃持久, 应力 590 MPa, 101 h 未断。

表 3 中、俄锻件的力学性能比较

温度/℃	国别	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ψ /%	α_{ku} /J·cm ⁻²	HB (d) /mm
20	中	1100	1020	18	36	45.7	3.47
		1090	1020	18	36	51.7	3.34
20	俄	1020	940	15	36	33.1	3.44
		1040	960	15	36	36.7	3.43
500	中	750		19	57		
		740		17	55		
500	俄	730		19	53		
		730		19	46		

注: 中、俄生产的锻件 500 ℃持久, 均为: 应力 590 MPa, 101 h 未断。



图 4 俄制锻件的显微组织 (×500)

5 结 论

1)飞机结构用异型锻件可采用 950℃, 2 h AC+530℃, 8 h AC 热处理制度, 热处理后锻件的显微组织为均匀的两相区加工组织, 并具有较好的综合力

学性能。
2) 国产飞机结构用异型锻件的组织 and 性能指标不亚于俄制 TC11 同类锻件实物水平。

参考文献

[1] 中国航空材料手册编委会. 中国航空材料手册[M]. 北京:中国标准出版社, 2002
[2] E.A.鲍利索娃等. 钛合金金相学[M]. 北京:国防工业出版社, 1986
[3] 王金友等. 航空用钛合金[M]. 上海: 上海工业出版社 1985
[4] 刘洪义等. 热处理对 TC11 等温锻盘件性能的影响[M]. 钛科学与工程 (第八届全国钛会文集), 北京:原子能工业出版社, 1993: 290

Structure and Performance of Formed Forgings of Titanium Alloy TC11 for Aircraft Structure

Bai Xiaohuan, Feng Yongqi, Wang Weiqi, Wang Yongqiang, Xu Zhuping

(Baoji Nonferrous Metal Works, Baoji 721014, China)

Abstract: Formed forgings of alloy TC11 worked out by Baoji Nonferrous Metal works through a proper technical processing route under industrialized condition were introduced. After tests and research on their structure and performance under different heat treatment rules, it shows that the microstructure of the forgings heat treated at 950℃, 2 h air cooled +530℃, 8 h is uniformed $\alpha + \beta$, and its comprehensive mechanical performance at room temperature is comparatively better. Its room temperature performance is as the follows: σ_b : 1050 MPa~1100 MPa, $\sigma_{0.2}$: 950 MPa~1020 MPa, δ_5 : 15%~18%, ψ : 32%~36%, α_{ku} : 45.7 J/cm²~51.7 J/cm². Other items of technical performance conform to the agreed standard requirements, and requests for aerospace applications are also met.

Key words: aircraft structure, titanium TC11; formed forgings; structure, performance

=====

信息岛动态

我国钛白粉产能迅猛扩张

根据中国涂料工业协会钛白粉行业分会 24 家成员企业提供的生产经营数据统计, 1 月~5 月共生产钛白粉 14.87×10^4 t, 比去年同期增长 14.5%, 其中生产金红石型钛白粉超过 5×10^4 t, 较去年同期增长 59%。同期国内进口钛白粉 8.9×10^4 t (绝大部分是高档专用金红石型钛白粉); 出口钛白粉 6×10^4 t, 较去年同期增长 140%。专家预测, 随着国内原有的钛白粉生产企业相继加快扩产步伐, 业外一些企业陆续加盟钛白粉行业, 今年国内市场钛白粉表观消费量将达到 85×10^4 t, 进口钛白粉超过 20×10^4 t。

近年来, 由于钛白粉行业较其他行业具有相对较高的赢利, 促使我国钛白粉工业的总生产能力迅猛增长, 预计到今年年底, 全国各类规模的钛白粉生产企业达 70 家左右, 总生产能力达到 70×10^4 t 以上, 成为仅次于美国、居世界第二位的钛白粉生产大国。截至目前, 全国钛白粉产能在 1×10^4 t 级以上的厂家已超过 33 家, 证明钛白粉行业正不断向规模化、集约化方向发展。但也应当看到, 钛白粉行业产能迅猛扩张同时也带来了一些负面影响, 如国际钛白粉市场价格持续攀升, 而国内钛白粉价格特别是金红石型钛白粉价格却不断走低, 致使今年第一季度末, 不少企业产品库存大幅增加。进入第二季度后, 受国际钛白粉市场需求的拉动, 国内出现了少有的金红石型钛白粉供不应求的局面。业内专家认为, 虽然今年国内还将新增 15×10^4 t 以上金红石型钛白粉的生产能力, 但绝大多数国产金红石型钛白粉在品质方面还不能完全取代进口产品, 因此, 今后一段时间内, 围绕价格而展开的金红石型钛白粉的市场竞争将会日趋激烈。

专家分析, 目前钛白粉行业存在的突出问题有以下几点: 一是在品种方面基本上都属于“通用型”, 缺乏多功能品种和专用品种; 二是钛矿开采能力相对滞后, 造成钛矿价格上涨; 三是环保治理压力很大, 解决不好将制约全行业的可持续发展。