



中华人民共和国国家军用标准

FL 9570

GJB 2744 - 96

航空用钛及钛合金自由锻件 和模锻件规范

Specification for titanium and titanium alloy
forging and die forging for aerospace

1996 - 10 - 03 发布

1997 - 05 - 01 实施

国防科学技术工业委员会 批准

航空用钛及钛合金自由锻件
和模锻件规范

GJB 2744 - 96

Specification for titanium and titanium alloy
forging and die forging for aerospace

1 范围

1.1 主题内容

本规范规定了 TA1、TA2、TA3、TA7、TC4、TC6、TC11 钛及钛合金自由锻件和模锻件(以下简称锻件)的要求、质量保证规定和交货准备等。

1.2 适用范围

本规范适用于钛及钛合金的重量不大于 60kg 的通用类锻件。

1.3 分类

1.3.1 根据零件的受力情况、重要程度、工作条件及材料和冶金工艺因素的不同,锻件分为三类,以 I、II、III 类表示:

I 类锻件需逐件进行力学性能试验;

II 类锻件选择性进行力学性能试验;

III 类锻件只进行硬度试验。

注:不能切取力学性能试验用试样的锻件不能归属于 I 或 II 类。

1.3.2 锻件类别应在锻件图样或其它文件中标注。未注明者归为 III 类。

2 引用文件

GB 228 - 87 金属拉伸试验方法

GB/T 229 - 94 金属夏比形缺口冲击试验方法

GB 231 - 84 金属布氏硬度试验方法

GB/T 3620.1 - 94 钛及钛合金牌号和化学成分

GB/T 3620.2 - 94 钛及钛合金加工产品化学成分及成分允许偏差

GB 4338 - 84 金属高温拉伸试验方法

GB/T 4698 - 84 钛及钛合金化学分析方法

GB/T 5168 - 85 两相钛合金高低倍组织检验方法

GB 6395 - 86 金属高温拉伸持久试验方法

GB 6397 - 86 金属拉伸试验试样

GB/T 8180 - 87 钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存

3 要求

3.1 材料

3.1.1 用于制造锻件的铸锭应采用真空自耗电弧炉熔炼,熔炼次数应不少于两次,最后一次熔炼稳定阶段的炉内压强应不大于 5Pa。

3.1.2 自耗电极禁止使用钨极氩弧焊焊接。

3.1.3 锻件用原材料应符合相应国军标及其它技术文件要求。

3.2 化学成分

3.2.1 锻件的合金化学成分应符合 GB/T 3620.1 的要求。

3.2.2 订购方从产品上取样进行化学成分复验分析时,其成分允许偏差应符合 GB/T3620.2 的规定。

3.3 尺寸和公差

锻件的形状和尺寸应符合供需双方商定的图样要求。

3.4 供应状态

3.4.1 锻件一般在热处理状态下供应,也可以不经热处理供应。

3.4.1.1 按照供方和需方的协议,锻件在热处理状态下供应时,热处理制度按表 1 进行。

表 1

合 金 牌 号	锻件或试样坯料热处理制度
TA1, TA2, TA3	650 ~ 700℃, 保温 1h, 空冷
TA7	750 ~ 850℃, 保温 1 ~ 2h, 空冷
TC4	700 ~ 800℃, 保温 1 ~ 2h, 空冷
TC6	等温退火 870 ~ 920℃, 保温 1 ~ 2h, 随炉或转炉冷至 600 ~ 650℃, 保温 2h, 空冷
TC11	950℃(允许在 β 转变温度以下 30 ~ 50℃ 范围内调整) 保温 1.5 ~ 2h, 空冷 + 530℃, 保温 6h, 空冷

3.4.2 锻件的表面应经清理后供应。

3.5 力学性能

3.5.1 从锻件上切取截面厚度不小于 15mm 的试样坯料或整个锻件按表 1 规定的制度进行热处理后测试力学性能。

3.5.2 纵向室温力学性能应符合表 2 的要求。

表 2

合金 牌号	室温力学性能, 不小于					
	σ_b MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	δ_5 %	ψ %	a_k kJ/m ²	HB(10/29.42kN) d, mm
TA1	310	—	20	45	490	4.7 ~ 5.2
TA2	410	—	18	35	490	4.7 ~ 5.2
TA3	510	—	13	30	490	4.7 ~ 5.2
TA7	785	—	10	25	295	3.4 ~ 3.9
TC4	895	825	10	25	350	3.35
TC6	950	910	8	20	295	3.2 ~ 3.7
TC11	1030	910	8	23	295	3.2 ~ 3.7

3.5.3 当用沿横向或短横向切取的试样测得的锻件的相对延伸率和断面收缩率比表 2 中规定的纵向性能值降低 20% 时, 应视为合格。

3.5.4 锻件的高温力学性能检验与否, 应根据锻件的类型、零件的工作温度等, 由需方确定。

一般 TA7 和 TC4 在 250℃ 以上、TC6 在 350℃ 以上、TC11 在 400℃ 以上的温度使用时, 则需要测定高温力学性能, 其指标应符合表 3 的要求。

表 3

合金 牌号	试验 温度 ℃	高温力学性能, 不小于				
		σ_b MPa	δ_5 %	ψ %	σ_{100h} MPa	σ_{35h} MPa
TA7	350	460	15	40	440	—
TC4	400	600	12	40	560	—
TC6	400	720	14	40	550	—
TC11	500	715	12	40	590	640

注: TC11 一般选用 $\sigma_{35h} = 640\text{MPa}$ 测定, 若未满足要求, 可再用 $\sigma_{100h} = 590\text{MPa}$ 测定, 持久断裂时间超过 100h 时仍作合格。

3.5.5 锻件的热稳定性要根据锻件类型和工作条件, 由供需双方商定, 其性能应符合表 4 的规定。

表 4

合金 牌号	热 稳 定 性					
	热暴露条件			室温拉伸性能,不小于		
	温度 ℃	时间 h	冷却 方式	σ_b MPa	δ_5 %	ψ %
TC4	400	100	空冷	895	8	20
TC11	500	100	空冷	1030	8	20

3.6 物理性能

供方应按熔炼炉号提供 $\alpha+\beta$ 合金的 β 转变温度的实测数据。

3.7 超声波探伤

钛及钛合金锻件的超声波质量检验标准及等级,应根据锻件类型和工作条件,由供需双方协商确定。

3.8 低倍组织

锻件在热加工状态或按表 1 进行热处理后,按规定剖面检查低倍组织。

3.8.1 不允许有肉眼可见的裂纹、夹杂、偏析、缩孔、气孔及其他冶金缺陷。

3.8.2 不允许有肉眼可见的清晰晶粒。如果对是否属于清晰晶粒产生异议或分歧,应以该区的显微组织为准。如果显微组织合格,则低倍组织属于非清晰晶。

3.8.3 在低倍组织检验中如果认为有偏析,则应对异议区进行显微组织和微区成分分析。若显微组织和化学成分均正常,则产品判为合格;若化学成分不符合技术条件规定范围,则产品判为偏析。根据偏析的性质和数量,允许供方单件报废。需方复验发现偏析时,经双方协商,根据偏析的性质和数量,可剔除含偏析的锻件,重新组批后验收;但如属于脆性偏析(其硬度明显高于基体的偏析,常见的如富铝、富氧、富氮等偏析),不允许剔除含偏析的锻件后重新组批交货。

3.9 显微组织

3.9.1 两相合金在锻造过程中应将所有原始 β 晶界破碎。 $\alpha-\beta$ 锻造的组织应由在转变 β 基体上的等轴初生 α 组成。锻造组织中的晶粒边界不应有连续的大于 25% 的原始晶界。

3.9.2 两相合金热处理后,任一截面上初生 α 含量应在 15% ~ 50% 范围内。等轴初生 α 颗粒尺寸不应超过 0.125mm;拉长的初生 α 颗粒长度最大尺寸应不超过 0.2mm;不允许有针状 α 存在。

3.10 表面质量

3.10.1 锻件的表面上不允许有裂纹、分层、折迭等缺陷。对加工表面缺陷允许用典型的打磨或机加工的方法清理,但清理的深度不应超过该处机加工余量之半;对非加工表面,打磨量不得超过最大负偏差。

3.10.2 如果要求超声波探伤时,其表面质量应满足超声波探伤的要求,其表面粗糙度一般

应不大于 $3.2\mu\text{m}$ 。

3.10.3 在生产过程中,当采用火焰切割或其它的热切割方法切除锻件工艺余料时,应采用机加工方法从火焰切割处去除所有被加热损坏的材料(不少于 6mm)。如果锻件已进行热处理和无损探伤检验后,则不再允许用火焰或其它热切割方法去除金属余料。

3.10.4 在腐蚀后的成品零件表面上不应有分层、空洞和肉眼可见的金属和非金属夹杂等冶金缺陷。

3.10.5 非加工表面应完全清除富氧 α 层。

3.11 其它要求

3.11.1 供方有责任保存产品质量跟踪所必需的重要文件,保存时间至少十年。需方有特殊要求时应在合同中注明。

3.11.2 供方的主导工艺应有固定的工艺说明书,并应严格执行。主导工艺的内容由供需双方根据试制确定的工艺规范制定。

3.11.3 主导工艺的更改应通知需方和需方的材料归口单位,并征得需方材料归口单位同意后方可实施。

3.11.4 供需双方可互派专人到对方进行有关质量控制的检查,检查人员必须对第三方保密,否则须承担法律责任。

4 质量保证规定

4.1 检验责任

除合同或订单中另有规定外,供方应负责完成本规范规定的所有检验。必要时需方或上级鉴定机构有权对规范所述的任一检验项目进行检查。

4.1.1 合格责任

所有产品必须符合本规范第 3 章和第 5 章的所有要求。若合同中包括本规范未规定的检验要求,供方还应保证所提交验收的产品符合合同要求。

4.1.2 复验和仲裁

需方对收到的产品应进行复验,如复验结果与本规范的规定不相符时,应在收到产品之日起六个月内向供方提出,由供需双方共同判定,意见不统一时,可由双方同意的第三者仲裁。

4.2 质量一致性检验

4.2.1 组批规则

锻件应成批提交验收,每批应由同一合金牌号、同一熔炼炉号、同一热处理炉批号、同一锻件号、同一制造方法的锻件组成。

4.2.2 检验项目、取样数量、取样部位

4.2.2.1 质量一致性检验项目、取样数量以及相应要求和检验方法的章条号应符合表 5 的规定。

4.2.2.2 供方按原材料的分析结果报出化学成分(氢含量在锻件供应状态测定),需方复验均在锻件上取样。

4.2.2.3 I、II 类锻件每批解剖一个锻件,供方在半个锻件上检验力学性能、金相组织和氢

含量,另半个锻件应作为该批产品的一部分一起发给需方供复验使用。

4.2.2.4 对用同一原材料生产几种规格相近的锻件,征得需方同意后,可以用规格最大的锻件的力学性能、显微组织的检验结果代表其它规格的锻件。

表 5

检验项目	取样数量			要求的章条号	检验或试验方法的章条号
	I	II	III		
化学成分	每熔炼炉号检验,每熔炼炉号取一份			3.2	4.3.1
尺寸与公差	由供需双方商定			3.3	4.3.2
室温力学性能	工艺余料部位 100%, 每块工艺余料取两个。 每批(炉)抽检一件,取 2 个	每批(炉)抽检一件,取 2 个	—	3.5.2	4.3.2
冲击韧性	每批(炉)抽检一件,取 2 个		—	3.5.2	4.3.3
硬度	—		100%	3.5.2	4.3.4
高温和热稳定性	根据需要供需双方协商确定		—	3.5.4 3.5.5	4.3.5 4.3.6
β 转变温度	按熔炼炉号提供实测数据,每熔炼炉号取一份			3.6	4.3.7
超声波探伤	需方有要求时每批 100%探伤			3.7	4.3.8
低倍组织	每批(炉)抽检一件,取一个			3.8	4.3.10
显微组织	每批(炉)抽检一件,取一个			3.9	4.3.10
表面质量	100%			3.10	4.3.11 4.3.12

4.2.3 重复试验

4.2.3.1 第一次试验结果力学性能不合格时,则在原受检件上对不合格项目重取双倍数量的试样进行重复试验,结果仍有一个试样不合格时,则整批不合格。按本规范要求允许进行重复热处理,重复热处理次数不得超过两次。热处理后,对合同要求的全部项目进行检验。

4.2.3.2 重复试验合格的产品的第一次试验结果应同时填入质量证明书上。

4.3 检验方法

- 4.3.1 化学成分仲裁分析方法按 GB/T 4698 进行。
- 4.3.2 尺寸检验用相应精度的量具进行。
- 4.3.3 室温拉伸试验按 GB 228 进行,推荐采用 GB 6397 中 R7 试样。
- 4.3.4 室温冲击试验按 GB/T 229 进行,推荐采用 10mm×10mm 梅氏试样。
- 4.3.5 室温硬度试验按 GB 231 进行。
- 4.3.6 高温拉伸试验按 GB 4338 进行,采用工作直径为 5mm 试样。
- 4.3.7 高温持久试验按 GB 6395 进行,采用工作直径为 5mm 的试样。
- 4.3.8 β 转变温度用淬火金相法或其它适宜的方法测定。
- 4.3.9 超声波质量检验标准,按供需双方商定的检验标准进行。
- 4.3.10 两相合金低倍组织和显微组织的检验方法按 GB/T 5168 进行。其它合金按照供需双方商定的标准检验低倍组织和显微组织。
- 4.3.11 外观质量用目视检查。
- 4.3.12 表面粗糙度检验用标块对比法进行。

5 交货准备

5.1 包装、运输和贮存

钛合金锻件的包装、运输和贮存按 GB 8180 的规定进行。

5.2 产品质量证明书

每批钛合金锻件应附有产品质量证明书,其上注明:

- a. 供方名称;
- b. 需方名称及合同号;
- c. 产品名称;
- d. 产品牌号、规格、类别和状态;
- e. 熔炼炉号、批号;
- f. 产品净重和数量;
- g. 各项分析检验结果、热处理制度;
- h. 技术监督部门印记;
- i. 本规范编号;
- j. 生产日期。

6 说明事项

6.1 预定用途

本规范规定的 TA1、TA2、TA3、TC4、TC6、TC11 钛合金锻件预定用于航空部门各种通用锻件,TA7 合金锻件预定用于航空部门锻制或轧制发动机机匣或其它非转动的结构件。

6.2 订货文件内容

合同或订单上应写明:

- a. 本规范的名称和编号；
- b. 产品名称、锻件号、合金牌号、锻件类别、供应状态、规格和数量；
- c. 化学成分中“其它杂质元素”的测定与否；
- d. 超声波探伤和显微组织检验要求；
- e. 产品质量跟踪重要文件保证期限的特殊要求；
- f. 高温力学性能和热稳定性测定与否；
- g. 其它需要说明的事项。

附加说明：

本规范由中国航空工业总公司提出。

本规范由中国航空工业总公司航空材料热工艺标准化技术归口单位归口。

本规范由中国航空工业总公司 621 所、有色金属工业总公司 902 厂起草。

本规范主要起草人：马济民、张延生、姜 明、康智国、张荣顺、宋 晋、应志毅。

计划项目代号：4HK17。