



# 中华人民共和国国家军用标准

FL 6210

GJB 2896A-2007  
代替 GJB 2896-1997

---

## 钛及钛合金熔模精密铸件规范

Specification for titanium and titanium alloy investment castings

2007-05-22 发布

2007-11-01 实施

---

国防科学技术工业委员会 发布

## 前 言

本规范代替 GJB 2896—1997《钛及钛合金熔模精密铸件规范》。

本规范与 GJB 2896—1997 相比的主要技术差异如下：

- a) 增加 ZTA15 钛合金熔模精密铸件；
- b) 增加 ZTA5 钛合金熔模精密铸件；
- c) 铸件的补焊要求直接引用相关标准；
- d) 调整了钛合金铸件的退火温度；
- e) 增加了钛合金熔炼设备的种类。

本规范由中国航空工业第一集团公司提出。

本规范由中国航空综合技术研究所、北京航空材料研究院归口。

本规范起草单位：中国航空工业第一集团公司北京航空材料研究院、北京百慕航材高科技股份有限公司、贵州安吉航空精密铸造有限责任公司、宝钛集团有限公司。

本规范主要起草人：黄 东、赵亚利、刘东升、刘 琴、黄永光、南 海、吴 鹤、赵嘉琪。

本规范于 1997 年 5 月首次发布。

## 钛及钛合金熔模精密铸件规范

### 1 范围

本规范规定了钛及钛合金熔模精密铸件的要求、质量保证规定和交货准备等。  
本规范适用于熔模精密铸造的钛及钛合金铸件。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包含勘误的内容)或修订版均不适用于本规范，然而，鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

- GB/T 228-2002 金属材料 室温拉伸试验方法
- GB/T 2039 金属拉伸蠕变及持久试验方法
- GB/T 3620.1 钛及钛合金牌号和化学成分
- GB/T 3620.2 钛及钛合金加工产品化学成分允许偏差
- GB/T 4338 金属材料 高温拉伸试验
- GB/T 4698(所有部分) 海绵钛、钛及钛合金化学分析方法
- GB/T 6060.1 表面粗糙度比较样块 铸造表面
- GB/T 6414-1999 铸件 尺寸公差与机械加工余量
- GB/T 8180 钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存
- GB/T 15073 铸造钛及钛合金牌号和化学成分
- GJB 1187 射线检验
- GJB 2367A-2005 渗透检验
- HB 6573 熔模钢铸件用标准参考射线底片
- HB/Z 348 钛及钛合金铸件补焊工艺及检验

### 3 要求

#### 3.1 材料

3.1.1 用于重熔浇注熔模精密铸件的自耗电极(母合金)应采用铸锭或锻棒，铸锭要经过两次或两次以上的真空或惰性气体保护条件下熔炼，锻棒是上述铸锭经过锻造去除氧化皮的棒材；熔炼方法为真空自耗、电子束、等离子熔炼的任一种方法或上述任两种方法的组合。

3.1.2 同一熔炼炉次的锻棒或由同一批海绵钛配制并经二次熔炼的铸锭为一个批次。每一批次铸锭和棒材(母合金)的化学成分应符合 GB/T 3620.1 和 GB/T 3620.2 的要求，但不超过表 1 的规定；或应符合供需双方协商的技术要求。其他技术要求按专用技术条件的规定。

#### 3.2 供应状态

3.2.1 铸件呈退火或热等静压状态供应。推荐的退火和热等静压制度见表 2。退火在真空或惰性气体保护条件下进行。

表1 铸件的化学成分

牌号	代号	主要成分												杂质含量, 不大于					其他元素		
		Al	V	Mo	Zr	Sn	Cu	Ce	Si	Fe	Ti	Fe	Si	C	N	H	O	单个	总和		
ZTi1	ZTA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	基	0.25	0.10	0.03	0.015	0.25	0.10	0.40	
ZTiA4	ZTA5	3.3~4.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	基	0.30	0.15	0.10	0.015	0.20	0.10	0.40	
ZTiAl5Sn2.5	ZTA7	4.0~6.0	-	-	-	2.0~3.0	-	-	-	-	-	-	基	0.30	0.15	0.10	0.015	0.15	0.10	0.40	
ZTiAl6Zr2 Mo1V1	ZTA15	5.5~6.8	0.8~2.5	0.5~2.0	1.5~2.5	-	-	-	-	-	-	-	基	0.30	0.15	0.13	0.05	0.01	0.16	0.1	0.3
ZTiAl5Mo5Sn2 Si0.25Co0.025	ZTC3	4.5~5.5	-	4.5~5.5	-	1.5~2.5	-	0.015~0.030	0.20~0.35	-	-	-	基	0.20	-	0.10	0.05	0.0125	0.18	0.10	0.30
ZTiAl6V4	ZTC4	5.5~6.8	3.5~4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	基	0.30	0.15	0.10	0.05	0.015	0.20	0.10	0.40
ZTiAl5.5Sn1.5 Zr3.5Mo3V1.5Cu1 Fe0.8	ZTC5	5.0~6.0	1.0~2.0	2.5~3.5	3.0~4.0	1.0~2.0	0.8~1.2	-	-	0.6~1.0	基	-	0.15	0.10	0.05	0.015	0.20	-	-	0.40	
ZTiAl6Sn2 Zr4Mo2	ZTC6	5.75~6.50	-	1.75~2.25	3.5~4.5	1.75~2.25	-	-	-	-	-	-	基	0.12	0.13	0.10	0.05	0.0125	0.15	-	0.30

表2 推荐的铸件退火和热等静压制度

代号	退火温度	热等静压制度
ZTA1	(600~750)℃, 保温(60~240)min	—
ZTA5	(550~750)℃, 保温(60~240)min	—
ZTA7	(600~800)℃, 保温(60~240)min	在(100~140)MPa氩气压力下, (910±10)℃, 保温(2~2.5)h, 随炉冷至300℃以下
ZTA15	(600~800)℃, 保温(60~240)min	—
ZTC3	(620~800)℃, 保温(60~240)min	在(100~140)MPa氩气压力下, (920±10)℃, 保温(3~3.5)h, 随炉冷至300℃以下
ZTC4	(600~800)℃, 保温(60~240)min	在(100~140)MPa氩气压力下, (920±10)℃, 保温(2~2.5)h, 随炉冷至300℃以下
ZTC5	(550~800)℃, 保温(60~240)min	—
ZTC6	(700~800)℃, 保温(60~120)min	—

注: ZTA5、ZTA15、ZTC5、ZTC6 合金的热等静压制度按专用技术文件执行。

3.2.2 铸件的供应状态应在零件设计图样和铸件图样上注明。

### 3.3 化学成分

3.3.1 铸件的化学成分应符合表1的规定。

3.3.2 其他元素单个含量和总量只在有异议时才作分析, 如需分析时应符合 GB/T 15073 的规定。

3.3.3 对杂质含量有特殊要求时, 应经供需双方协商后在有关技术文件中注明。

### 3.4 力学性能

3.4.1 铸件附铸试样的力学性能应符合表3的规定。从铸件上切取试样的力学性能, 允许比附铸试样的性能低5%。除另有规定外, 试样应与同批铸件一起进行退火或热等静压处理。

表3 铸件附铸试样力学性能

代号	试样状态	抗拉强度, $R_m$	规定非比例延伸强度, $R_{p0.2}$	断后伸长率, $A$	断面收缩率, $Z$
		MPa	MPa	%	%
不小于					
ZTA1	退火或热 等静压	345	275	12	—
ZTA5		590	490	10	—
ZTA7		760	700	5	12
ZTA15		885	785	5	12
ZTC3		930	835	4	8
ZTC4		835 (890)	765 (820)	5 (5)	12 (10)
ZTC5		1000	910	4	8
ZTC6		860	795	5	10

当需方有要求时, 可采用括号内的性能指标。

3.4.2 合金高温力学性能一般不测定。当需方有要求时，在图样及专用文件中予以注明，其性能应符合表4的规定。

表4 合金的高温力学性能

代号	试样状态	试验温度, $t$ ℃	抗拉强度, $\sigma_b$ MPa	持久强度, $\sigma_{100h}$ MPa
			不小于	
ZTA7	退火或热等静压	300	410	400
ZTC3		500	570	520
ZTC4		350	500	490

### 3.5 表面质量

3.5.1 铸件表面应清理干净，不允许有毛刺、飞边等。非加工表面的浇冒口应打磨到与表面齐平；待加工表面的浇冒口残余量在不影响X射线检验的情况下，允许高出相邻表面5mm。

3.5.2 铸件的加工及划线的基准表面部位应平整，其轮廓尺寸应符合铸件图样要求。

3.5.3 铸件上不允许有裂纹、冷隔及穿透性缺陷等。

3.5.4 在待加工表面上允许存在不超过机械加工余量范围的除裂纹、冷隔以外的其他缺陷；非加工表面和加工以后的表面（螺纹表面除外）上允许存在的缺陷应不超过表5的规定，有特殊情况时供需双方协商解决。直径和深度小于0.3mm的缺陷不计。非圆孔洞取各向尺寸的平均值作为直径。

表5 表面允许缺陷

质量级别	受检面积 mm <sup>2</sup>	单个孔洞			成组孔洞			线性缺陷			缺陷边沿距轮廓边沿、孔沿的最小距离 mm
		最大尺寸	最大深度	最多数量	最大尺寸	最大深度	最多数量	最大尺寸	最大深度	最多数量	
		mm	mm	个	mm	mm	组	mm	mm	个	
A	25×25	供需双方协商确定									
B		1.0	1.0	4	5.0	0.8	2	1.0	0.5	2	5.0
C		2.0	1.5	5	8.0	1.0	2	1.2	0.8	2	4.0
D		3.0	2.0	5	15.0	1.5	1	1.5	1.0	2	3.0

3.5.5 铸件表面缺陷的深度应不超过铸件厚度的1/3，缺陷的反面不允许有缺陷。

3.5.6 铸件表面的孔洞应清理干净，孔洞内不应有任何脏物。

3.5.7 铸件表面允许存在宽度大于或等于深度的两倍且深度不超过0.2mm的圆形的、轮廓线清晰的底部光滑的流痕。

3.5.8 铸件表面的 $\alpha$ 层应用吹砂、酸洗或其他方法去除。

3.5.9 铸件的表面粗糙度 $Ra$ 值应不大于6.3 $\mu$ m。

### 3.6 内部质量

3.6.1 采用X射线检验方法对铸件内部任务进行检验，质量级别为D级铸件一般不进行X射线检验。

3.6.2 铸件中的气孔、缩孔、海绵状缩松、低密度夹杂、树枝状缩松等缺陷应按HB 6573进行制定，其允许级别见表6。

3.6.3 铸件中的高密度夹杂缺陷应按HB 6573中的气孔标准进行制定，其允许级别见表6。

表 6 X 射线检验内部缺陷允许级别

铸件 质量级别	铸件壁厚 mm	标准板厚 mm	内部缺陷允许级别				
			气孔	缩孔	海绵状缩松	树枝状缩松	低密度夹杂
A	<3	3.2	供需双方协商确定				
	3~9.5	9.5					
	>9.5	19.0					
B	<3	3.2	6	不允许	4	5	4
	3~9.5	9.5	4	不允许	2	4	3
	>9.5	19.0	4	2	2	4	3
C	<3	3.2	7	不允许	5	7	5
	3~9.5	9.5	5	不允许	3	5	4
	>9.5	19.0	5	2	3	5	4
D	不要求						

### 3.7 外形和尺寸

铸件的外形和尺寸应符合铸件图样的规定。一般尺寸公差按 GB/T 6414—1999 中规定的 CT5~CT8 级选定，特殊尺寸公差应经供需双方协商并在铸件图样中注明。

### 3.8 铸件的修整、补焊和矫正

#### 3.8.1 铸件的修整

允许用打磨或其他机械加工的方法去除铸件上的任何缺陷，但修整后的铸件尺寸应符合铸件图样的要求。

#### 3.8.2 铸件的补焊

3.8.2.1 除零件图样或专用技术文件规定不允许补焊的部位外，铸件上所有便于打磨、补焊和检查的部位的缺陷均允许用补焊的方法进行修补。

3.8.2.2 铸件应采用钨极氩弧焊或需方认可的其他补焊工艺进行补焊。钨极氩弧焊补焊工艺按 HB/Z 348 执行，并作好记录。

3.8.2.3 同一位置的补焊次数，ZTA1、ZTA5、ZTA7、ZTC4、ZTC6 等铸件不允许超过三次，ZTA15、ZTC3、ZTC5 等铸件不允许超过两次。

#### 3.8.3 铸件的矫正

3.8.3.1 铸件预热到 500℃ 以下，用手工(或机械)方法进行矫正，矫正后应及时退火；也可以采用热蠕变变形矫正，矫正后不需要再进行退火。

3.8.3.2 矫正后的铸件应进行荧光渗透检验。表面应无裂纹。

### 3.9 铸件的气密性检查和其他特殊要求

铸件有气密性要求和其他特殊要求时，经供需双方协商后在图样中予以规定，并按相应的技术文件执行。

### 3.10 产品标志

铸件的批(次)号、铸件号应标在零件图样或铸件图样指定的位置上。若禁止打钢印时，应用专用油墨打橡皮印，或挂(贴)标签。

## 4 质量保证规定

## 4.1 检验分类

本规范的检验为质量一致性检验。

## 4.2 质量一致性检验

## 4.2.1 组批规则

铸件应按批进行验收。每批由同批次母合金、用相同的工艺、连续生产的不超过 20 个熔炼炉次的铸件组成。

## 4.2.2 检验项目

铸件的质量一致性检验项目、取样部位和数量应符合表 7 的规定。有特殊要求时应在铸件图样或专用技术文件中规定。

表 7 检验项目、取样部位和数量

检验项目	取样部位及数量			要求的 章条号	检验或试验方 法的章条号
	I、II	III	IV		
化学成分	附铸试棒或浇注系统或铸件上, 每批一个			3.3	4.3.1
力学性能(室温和高温)	附铸试棒、铸件或浇注系统上 同一批, 或同一热处理炉次 2 根		不作 检查	3.4	4.3.2 4.3.3
表面质量	目视检验	100%		3.5	4.3.4
	荧光渗透检验	100%	100% 或抽查		
	表面粗糙度	100%	100% 或抽查	不作 检查	
内部质量	100%	100% 或抽查	不作 检查	3.6	4.3.5
外形和尺寸	100%或抽查			3.7	4.3.6
抽查比例由供需双方协商确定。					

## 4.2.3 检验结果的判定

4.2.3.1 符合本规范第 3 章规定的铸件为合格铸件。

4.2.3.2 当化学分析结果不合格时, 允许重新取样对不合格元素进行重复试验。重复试验结果仍不合格时, 允许逐熔炼炉次取样进行全项分析, 任一元素不合格时判定该炉次铸件不合格。

4.2.3.3 力学性能不合格时, 允许在同一热处理或热等静压处理的炉次(包括原不合格熔炼炉次)中取双倍试样进行重复试验。重复试验结果仍有一个不合格时, 允许逐个熔炼炉次取样进行检验。当一个试样不合格时, 判定该熔炼炉次铸件不合格。

4.2.3.4 铸件的表面质量、内部质量、外形或尺寸 100%检验出现不合格时, 判定单件不合格; 抽查检验出现不合格时, 供需双方协商处理。

4.2.3.5 重复试验合格的铸件的第一次检验结果应同时填入质量证明书。

## 4.3 检验方法

## 4.3.1 化学成分

化学成分分析按 GB/T 4698(所有部分)的规定进行。

## 4.3.2 室温力学性能

室温拉伸试验按 GB/T 228-2002 的规定进行, 采用 GB/T 228-2002 中 R5 或 R7 试样。

## 4.3.3 高温力学性能



高温力学性能试验按 GB/T 4338 和 GB/T 2039 的规定进行。

#### 4.3.4 表面质量

表面质量用目视检验和荧光渗透检验，荧光渗透检验按 GJB 2367A-2005 的规定进行。

表面粗糙度检验按 GB/T 6060.1 的规定，用标块对比法进行。

#### 4.3.5 内部质量

内部质量用 X 射线进行检验，X 射线检验按 GJB 1187 的规定进行，并按 HB 6573 进行判定。

#### 4.3.6 外形和尺寸

用相应精度的量具测量。

#### 4.3.7 补焊后检验

补焊后按 HB/Z 348 的规定进行检验。

### 5 交货准备

#### 5.1 包装、标志、运输和贮存

铸件的包装、标志、运输和贮存应按 GB/T 8180 的规定进行。

#### 5.2 产品质量证明书

每批钛合金铸件应附有质量证明书。除特殊规定外，一般应注明以下内容：

- a) 供方名称；
- b) 需方名称及合同号；
- c) 产品名称(零件名称)；
- d) 产品牌号(合金牌号)；
- e) 供应状态；
- f) 炉批(次)号，母合金炉批(次)号；
- g) 铸件净重和数量；
- h) 各项分析检验结果、热处理制度；
- i) 重复试验合格的铸件的第一次检验结果；
- j) 质量检验部门印记；
- k) 本规范编号；
- l) 包装日期。

### 6 说明事项

#### 6.1 预定用途

本规范规定的 ZTA1、ZTA5、ZTA7、ZTA15、ZTC3、ZTC4、ZTC5、ZTC6 等钛合金精密铸件预定用于航空、航天部门各种飞行器或装置的结构件。

#### 6.2 订货文件中应明确的内容

合同或订货单上应写明下列内容：

- a) 本规范的名称和编号；
- b) 产品名称、合金牌号、供应状态、铸件数量和图样编号；
- c) 铸件类别、等级，高温性能要求；
- d) 其他需要说明的事项。

#### 6.3 分类

6.3.1 铸件根据其受力情况、重要程度和工作条件分为 I、II、III、IV 四类，见表 8。

表 8 铸件分类

铸件类别	说 明
I	承受大载荷或交变载荷, 工作条件复杂, 位于关键部位的重要铸件。该铸件损坏将威胁到全体操作人员的生命, 或者导致飞机、导弹或其他飞行器的失效
II	承受中等载荷, 位于重要部位的铸件。该铸件损坏将引起飞机、导弹或其它飞行器重大故障, 包括主要部件的失效、武器装备的故障
III	承受低载荷, 用于一般部位的铸件
IV	I、II、III 类以外的其他铸件

6.3.2 铸件按不同部位(或区域)的重要程度分为 A、B、C、D 四个质量级别, 见表 9。

表 9 质量级别

质量级别	说 明
A	最高质量级别
B	高质量级别
C	较高质量级别
D	一般质量级别

6.3.3 铸件的类别和质量级别由设计部门或设计部门会同有关部门确定, 并在图样中注明。未注明的铸件类别为 IV 类, 质量级别为 D 级。

一般情况下, 铸件的类别与质量级别的关系按表 10 规定处理。

表 10 铸件的类别与质量级别的关系

铸件类别	质量级别	
	指定区	非指定区
I	A 或 B	C
II	B 或 C	C 或 D
III	C	D
IV	D	