

# 《航空航天用高温钛合金锻件》

## 编制说明（送审稿）

### 一、工作简况

#### 1. 任务来源

根据国家标准委《关于下达 2017 年第四批国家标准制修订计划的通知》（国标委综合[2017]128 号）的要求，由宝钛集团有限公司和宝鸡钛业股份有限公司负责起草《航空航天用高温钛合金锻件》国家标准。项目计划编号：20173772-T-610，计划完成年限为 2019 年。

#### 2. 主要起草单位简况

##### 2.1 宝钛集团有限公司

宝钛集团有限公司始建于 1965 年，是国家“三五”期间为满足国防军工、尖端科技发展的需要，以“九 0 二”为工程代号而投资兴建的国家重点企业，原名 902 厂，1972 年更名为宝鸡有色金属加工厂，隶属于国家冶金工业部；1983 年划归中国有色金属工业总公司主管；1999 年划归中国稀有稀土集团公司管理；2000 年划归到陕西省，隶属于陕西有色金属控股集团有限责任公司；2005 年，为建立现代企业制度、理顺国有资产管理关系，工厂整体改制为宝钛集团有限公司。

历经近 50 年的艰苦磨砺，宝钛集团现已发展成为中国最大、实力最雄厚、体系最完整的以钛及钛合金为主的稀有金属材料专业化科研生产基地，是我国钛工业的摇篮和旗帜。是中国钛、锆国标、军标、行规的制定者，代表着我国钛、锆材加工技术的最高水平，是“中国钛谷”和“国家高技术新材料产业基地”的龙头企业。目前，公司主导产品钛材年产量已位居世界同类企业第二。

我国第一颗氢弹的爆炸成功、第一艘核潜艇的胜利下水、第一颗软着陆卫星顺利返回地面、首次向太平洋海域成功发射运载火箭、“嫦娥”奔月成功都有宝钛集团的功绩。系列歼击机、直升机、各型运载火箭、卫星、系列导弹和神舟飞船，以及核动力船舶等都使用了宝钛集团研制生产的钛及钛合金稀有金属材料。它不仅使中国摆脱了重点型号和武器装备关键材料受制于人的局面，丰富了我国航空用钛合金材料体系，而且大大提升了我国军事装备水平和国产化能力，为国防现代化建设和尖端科技发展做出了巨大贡献。

##### 2.2 宝鸡钛业股份有限公司

宝鸡钛业股份有限公司成立于 1999 年 7 月 21 日，由宝钛集团有限公司（原宝鸡有色金属加工厂）作为主发起人设立。并作为中国钛工业第一股于 2002 年 4 月 12 日在上

海证券交易所成功上市（股票名称：宝钛股份；股票代码：600456）。

公司是“钛锆及其合金标准研制创新示范基地”、“国际科技合作基地”、“国家认定企业技术中心”、“全国工业品牌培育示范企业”、“国家技术创新示范企业”，所在地被誉为“中国钛城”、“中国钛谷”。

公司建立起“海绵钛、熔铸、锻造、板材、带材、无缝管、焊管、棒丝材、精密铸造、原料处理”十大生产系统，形成 30000 吨钛铸锭和 20000 吨钛加工材生产能力。公司主体装备由美、日、德、奥等十五个国家引进，主要有 2400W 电子束冷床炉、15t/10t 真空凝壳炉、万吨自由锻压机、2500t 快锻机、高速棒丝生产线、钛带生产线（MB22-TI 型二十辊冷轧机）、3.3 米宽厚板生产线等，这也使我国成为继美、日、俄后拥有完整钛工业产业链的国家。

公司加大科技创新和新产品开发，主要产品覆盖钛及钛合金板、带、箔、管、棒、线、锻件、铸件等，并逐步扩展到锆、镍、钢等材料领域，产品广泛应用于航空、航天、舰船等高精尖领域和氯碱化工、电力、冶金、医药及海洋工程等国民经济重要领域。借力资本市场，通过实施增长战略，实现跨越式发展。公司积极拓展国际市场，产品远销美国、日本、德国、法国、英国、挪威、瑞典、新加坡、意大利、印度、韩国等几十个国家，与空客、波音等航空企业建立了长期战略合作关系，逐步成为世界钛工业的重要组成部分。

### 3. 主要工作过程

宝钛集团有限公司在接到该标准的制定任务后，成立了标准编写组，召开了标准项目编制启动会议，对标准编写工作进行了部署和分工，主要工作过程经过了以下几个阶段。

#### 3.1 起草阶段

本标准依据我国航空航天用高温钛合金锻件市场情况首次制定，在起草阶段进行了大量的数据收集和测试研制，同时兼顾了航空航天主干高温钛合金牌号。

1) 2018 年 1 月成立标准编制组，并明确了工作的职能和任务。

2) 2018 年 2 月～2018 年 3 月对航空航天用高温钛合金锻件的生产和使用状况进行了相关资料的收集和总结，并对相关的技术资料进行了对比分析。

3) 2018 年 4 月～2018 年 5 月根据对航空航天用高温钛合金锻件的相关资料进行分析和总结，形成了《航空航天用高温钛合金锻件》的征求意见稿。并进行了广泛的征求意见工作。

4) 2018 年 6 月 28 日，由全国有色金属标准化技术委员会在新疆乌鲁木齐市组织召开了《先进结构材料领域关键技术标准研究》课题工作会议。来自全国 15 家单位 23 位代表参加了会议，与会代表对《航空航天用高温钛合金锻件》国家标准进行了认真、

仔细的讨论，形成修改意见如下：①将产品的力学性能考核指标按 GJB 2218 的规定进行修改；②删除 3.9.1 条中“TA5、TA13”；③将表格中量与单位按 GB/T 1.1 的要求进行统一修改；④对标准文本进行编辑性修改；最后参加本标准讨论的全部专家一致同意：对《航空航天用高温钛合金锻件》标准的讨论稿按修改意见修改后，形成《航空航天用高温钛合金锻件》的征求意见稿。

### 3.2 征求意见阶段

1) 本标准编制组将征求意见稿发送至中国有色金属工业标准计量质量研究所、中铝沈阳有色金属加工有限公司、西部超导材料科技股份有限公司、宝钢特钢有限公司、湖南金天钛业科技有限公司、西部金属材料股份有限公司、西北有色金属研究院等 18 家相关生产应用单位和科研院所进行了广泛的征求意见工作，并在中国有色金属标准质量信息网进行挂网征求意见，回函的单位共 17 家、回函并有建议或意见的单位共 10 家、没有回函的单位共 1 家。

2) 2018 年 9 月 19 日，根据科技部下达国家重点研发计划《先进结构材料领域关键技术标准研究》重点专项的要求，由全国有色金属标准化技术委员会在天津组织召开了《航空航天用高温钛合金锻件》预审会。来自全国 15 家单位 23 位代表参加了会议，与会代表对《航空航天用高温钛合金锻件》国家标准进行了认真、仔细的讨论，形成修改意见如下：①删除 3.1.2 条中非自耗电极熔炼方法；②3.4.2 条明确环材性能考核规格；③修改表 4 中 TA19 试验温度，建议与国军标保持一致；④3.11 中锻件表面粗糙度改为强制要求；⑤修改 5.3 条检验项目条款。本标准编制组通过直接采纳其 10 条修改建议或意见后（征求意见情况详见《标准征求意见稿意见汇总处理表》），形成了标准送审稿及其编制说明，并提交有色标委会对标准送审稿进行审查。

### 3.3 审查阶段

### 3.4 报批阶段

## 4. 主要参加单位和工作组成员及其所作的工作

本标准由宝钛集团有限公司、宝鸡钛业股份有限公司、有色金属技术经济研究院、中科院沈阳金属研究所、中航沈飞民用飞机有限责任公司等单位共同起草。

主要成员：胡志杰、冯军宁、陈秉刚、张江峰、岳旭、解晨、白智辉、马忠贤、冯永琦、何书林、高颀、贾栓孝、朱绍祥、孙红军。

所作的工作：胡志杰、冯军宁、陈秉刚、张江峰为主要起草人，负责方案制定、资料收集、产品调研、技术参数的确定以及标准条款编写等工作；解晨、白智辉、马忠贤、冯永琦、何书林、高颀、贾栓孝、朱绍祥、岳旭、孙红军主要负责标准资料的收集、产品生产和使用情况的调研以及协助产品试验等工作。

二、标准编制原则和确定标准主要内容的论据

1. 标准编制原则

本标准在编制时，主要参考了宝钛集团企业标准、协议标准、内控标准及国外相关锻件标准，结合市场调研，完成了标准征求意见稿。同时，项目组确定出以下主要原则：

- a) 标准应严格按照 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第一部分：标准的结构与编写》的规定格式进行编写。
- b) 所列材料均为已大量批产并广泛使用的牌号。
- c) 产品的技术指标应均得到相应印证，确保合理性。

2. 确定标准主要内容的论据

本次制订时，钛合金牌号的主要技术要求及指标，参照宝钛集团有限公司、宝鸡钛业股份有限公司与中国航空及航天单位签订的高温用钛合金品技术协议、国家航空航天用军用标准及国家标准为主要参考依据。

所参考的部分技术协议如表 1。

表 1

| 编 号             | 名 称                       | 协议单位     |
|-----------------|---------------------------|----------|
| XJ/BS 5106-1994 | 航空发动机用钛合金环坯技术协议           | /        |
| XJ/BS 5275-2004 | 航空发动机盘、鼓筒和鼓筒轴用高温钛合金饼环坯标准  | /        |
| XJ/BS 5338-2006 | 航空用高温钛合金钛合金技术条件           | /        |
| XJ/BS 5585-2016 | 航空用钛及钛合金锻件和锻坯规范           | /        |
| XJ/BS 5281-2006 | 航天用TA15（BT20）环材协议标准       | /        |
| XJ/BS 5552—2017 | TC31(Bti—6431s)钛合金锻件技术协议  | /        |
| GJB 391A-2015   | 航天用钛合金饼材规范                | 国家军用标准   |
| GJB 1169A-2014  | 航天用钛合金环材规范                | 国家军用标准   |
| GJB 2218A-2018  | 航空用钛及钛合金锻件和锻坯规范           | 国家军用标准   |
| GJB 2220-2018   | 航空发动机用钛合金饼环坯规范            | 国家军用标准   |
| GJB3763A-2004   | 钛及钛合金热处理                  | 国家军用标准   |
| GB/T 16598      | 钛及钛合金饼和环                  | 国家标准     |
| GB/T 3620.1     | 钛及钛合金牌号和化学成分              | 国家标准     |
| AMS4928         | 退火态TC4钛合金锻件、线材、锻件、环材和拉拔型材 | 美国宇航材料标准 |

对规范规定的各项技术指标的详细说明如下：

2.1 材料与化学成分要求

由于钛及钛合金化学活性高，易受 H、O、N 等气体污染，所以规定铸锭需采用真空熔炼；为保证成分均匀性，规定铸锭的熔炼次数不得少于两次。AMS 等国外先进标准对钛合金的熔炼次数均有此规定。

为考虑标准间的相互协调性和一致性，本规范规定产品的化学成分均引用 GB/T3620.1。

2.2 牌号、规格、状态

本规范包含的锻件主要用于需方后续精机加工，所以规定锻件的交货状态为退火态

(M 态); 当需要后续热加工时, 供方可热加工态供货。退火制度依据 GJB3763 和供需双方的技术协议确定, 具体如表 2 所示。必要时, 供方还可适当选择和调整热处理制度。

表 2

| 牌号   | 推荐的热处理制度                                                                                        |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TA7  | 750℃~850℃, 1 h~4h, 空冷                                                                           |
| TA15 | 700℃~850℃, 1 h~4h, 空冷                                                                           |
| TA19 | 970℃±10℃, 保温1h~2h, 空冷; 593℃±10℃, 保温8h, 空冷。首次退火温度允许在β转变温度以下14℃~28℃范围内调整                          |
| TA32 | (T <sub>β</sub> -20)℃, 保温 1h~2h, 空冷或更快速度冷却; 590℃~610℃, 保温 2h, 空冷。首次退火温度允许在β转变温度以下 15℃~35℃范围内调整。 |
| TA33 | (T <sub>β</sub> -20)℃, 保温 1h~2h, 空冷或更快速度冷却; 680℃~720℃, 保温 2h, 空冷。首次退火温度允许在β转变温度以下 10℃~35℃范围内调整。 |
| TC1  | 700℃~850℃, 1 h~4h, 空冷                                                                           |
| TC2  | 700℃~850℃, 1 h~4h, 空冷                                                                           |
| TC4  | 700℃~800℃, 1 h~4h, 空冷                                                                           |
| TC6  | 860℃~920℃, 保温1h~2h; 随炉或转炉冷却至600℃~650℃, 保温2h, 空冷                                                 |
| TC11 | 950℃±10℃, 1 h~3h, 空冷+530℃±10℃, 6h, 空冷。首次退火温度允许在β转变温度以下30℃~50℃范围内调整                              |
| TC17 | 840℃±10℃, 保温1h~4h, 空冷; 800℃±10℃, 保温2h, 水冷; 630℃±10℃, 保温 8h, 空冷                                  |
| TC25 | 950℃~970℃, 保温1h~4h, 空冷; 530℃~570℃, 保温6h~24 h, 空冷。首次退火温度允许在β转变温度以下30℃~50℃范围内调整                   |
| TC31 | (T <sub>β</sub> -30)℃, 保温1h~2h, 空冷; 450℃~650℃, 保温4h~8h, 空冷。首次退火温度允许在β转变温度以下20℃~50℃范围内调整。        |

本规范包含的锻件(主要产品形式以饼环材为主)牌号及规格是依据实际情况确定的, 具体见表 3 的规定。其他形状的锻件尺寸应按图纸要求执行。

表 3

| 牌 号                                                         | 供应状态                          | 产品形式 | 规格, mm    |          |         |        |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|------|-----------|----------|---------|--------|
|                                                             |                               |      | 外径D       | 内径d      | 截面高度H   | 环材壁厚   |
| TA7、TA15、TA19、TA32、TA33、TC1、TC2、TC4、TC6、TC11 TC17、TC25、TC31 | 热加工态<br>(R)<br><br>退火态<br>(M) | 饼材   | 150~500   | —        | H< D    | —      |
|                                                             |                               |      | >500~1000 | —        | 50~500  | —      |
|                                                             |                               | 环材   | 200~500   | 100~400  | 25~300  | 25~150 |
|                                                             |                               |      | >500~900  | 300~850  | 45~500  | 25~250 |
|                                                             |                               |      | >900~1500 | 400~1450 | 110~700 | 25~400 |
|                                                             |                               |      |           |          |         |        |

2.3 力学性能

本规范包含合金牌号的力学性能指标依据现有供需双方执行的技术协议和实物水平确定。室温及高温力学性能具体指标见表 4, 表 5。

表 4

| 牌号   | 室温力学性能, 不小于                  |                                      |               |               |
|------|------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|
|      | 抗拉强度<br>R <sub>m</sub> , MPa | 规定非比例延伸强度<br>R <sub>p0.2</sub> , MPa | 断后伸长率<br>A, % | 断面收缩率<br>Z, % |
| TA7  | 785                          | 680                                  | 10            | 25            |
| TA15 | 885                          | 825                                  | 8             | 20            |
| TA19 | 895                          | 825                                  | 10            | 25            |
| TA32 | 900                          | 800                                  | 6             | 13            |
| TA33 | 950                          | 880                                  | 6             | 15            |
| TC1  | 585                          | 460                                  | 15            | 30            |
| TC2  | 685                          | 560                                  | 12            | 30            |

表 4（续）

| 牌号   | 室温力学性能，不小于          |                               |                  |                  |
|------|---------------------|-------------------------------|------------------|------------------|
|      | 抗拉强度<br>$R_m$ , MPa | 规定非比例延伸强度<br>$R_{p0.2}$ , MPa | 断后伸长率<br>$A$ , % | 断面收缩率<br>$Z$ , % |
| TC4  | 895                 | 825                           | 10               | 25               |
| TC6  | 940                 | 840                           | 8                | 20               |
| TC11 | 1030                | 900                           | 10               | 30               |
| TC17 | 1120                | 1030                          | 7                | 15               |
| TC25 | 980                 | 860                           | 8                | 18               |
| TC31 | 1000                | 900                           | 6                | 10               |

表 5

| 牌号   | 试验温度, °C | 高温力学性能，不小于          |                 |                |                  |
|------|----------|---------------------|-----------------|----------------|------------------|
|      |          | 抗拉强度<br>$R_m$ , MPa | 持久强度, MPa       |                |                  |
|      |          |                     | $\sigma_{100h}$ | $\sigma_{50h}$ | $\sigma_{35h}$   |
| TA7  | 350      | 490                 | 440             | —              | —                |
| TA15 | 500      | 570                 | —               | 470            | —                |
| TA19 | 480      | 620                 | —               | —              | 480              |
| TA32 | 550      | 560                 | 430             | —              | —                |
| TA33 | 600      | 600                 | 310             | —              | —                |
| TC1  | 350      | 345                 | 325             | —              | —                |
| TC2  | 350      | 420                 | 390             | —              | —                |
| TC4  | 400      | 620                 | 570             | —              | —                |
| TC6  | 400      | 735                 | 665             | —              | —                |
| TC11 | 500      | 685                 | —               | —              | 640 <sup>a</sup> |
| TC17 | 370      | 905                 | 685             | —              | —                |
| TC25 | 500      | 735                 | —               | 637            | —                |
|      | 550      | 685                 | —               | 441            | —                |
| TC31 | 650      | 500                 | —               | —              | 420              |

2.4 超声波检验

产品应按GB/T 5193进行超声波探伤，检验结果应符合表6的规定。

表 6

| 产品截面高度或壁厚, mm | 验收级别 |
|---------------|------|
| ≤150          | A    |
| >150          | B    |

2.5 低倍、显微组织

产品的横向低倍组织不应有裂纹、缩尾、气孔、金属夹杂或非金属夹杂、影响使用的偏析及其他目视可见的冶金缺陷。

经热处理后，产品的显微组织应符合如下要求：

TA7 钛合金的显微组织应是等轴  $\alpha$  组织或等轴和拉长  $\alpha$  组织，以及部分破碎和扭曲的晶界  $\alpha$  及片状  $\alpha$ ，无完整的原始  $\beta$  晶界。其他钛合金的显微组织应是两相区加工产生的组织，无完整的原始  $\beta$  晶界。在转变的  $\beta$  基体上的等轴  $\alpha$  组织、或等轴  $\alpha$  和拉长  $\alpha$  组织，以及部分破碎和扭曲的晶界  $\alpha$  及片状  $\alpha$  都是可接受的组织。

3 主要试验（或验证）情况分析

3.1 主要试验数据分析

本标准经过了大量实物供应及数据储备,形成了我国现阶段可批量稳定生产供货的航空航天用高温钛合金锻件产品标准。

表 7~表 13 和图 1~图 5 为标准中典型合金比对中的相关原始数据分析。

表 7 室温性能原始数据

| 锭号           | 规格              | 室拉性能     |             |       |       |
|--------------|-----------------|----------|-------------|-------|-------|
|              |                 | Rm (Mpa) | Rp0.2 (Mpa) | A (%) | Z (%) |
| 534-20170247 | Φ 370/Φ 275×160 | 957      | 890         | 12    | 47    |
|              |                 | 962      | 884         | 13    | 43    |
| 534-20170136 | Φ 560/Φ 440×300 | 965      | 888         | 14    | 36    |
|              |                 | 956      | 882         | 13.5  | 43    |
| 534-20170136 | Φ 680/Φ 570×500 | 964      | 898         | 11    | 37    |
|              |                 | 964      | 899         | 16    | 37    |
| 534-20170458 | Φ 342/Φ 322×230 | 984      | 911         | 20    | 45    |
|              |                 | 1000     | 929         | 17    | 45    |
| 534-20170565 | Φ 342/Φ 322×230 | 979      | 916         | 14    | 37    |
|              |                 | 985      | 916         | 15    | 39    |
| 534-20170707 | Φ 640/Φ 480×80  | 986      | 925         | 13    | 29    |
|              |                 | 961      | 893         | 12    | 40    |
| 534-20160159 | Φ 510/Φ 380×30  | 977      | 914         | 12    | 36    |
|              |                 | 951      | 882         | 12    | 31    |
| 534-20160467 | Φ 460/Φ 220×45  | 968      | 901         | 16    | 41    |
|              |                 | 988      | 922         | 16    | 40    |
| 534-20142601 | Φ 340/Φ 310×150 | 1034     | 999         | 15    | 46    |
|              |                 | 1040     | 1004        | 12    | 44    |
| 534-20171450 | Φ 380/Φ 352×250 | 973      | 914         | 16.5  | 40    |
|              |                 | 975      | 920         | 16.5  | 39    |
| 534-20171451 | Φ 460/Φ 220×45  | 926      | 856         | 13.5  | 29    |
|              |                 | 933      | 871         | 14    | 31    |
| 534-20180140 | Φ 206/Φ 140×330 | 967      | 905         | 14    | 38    |
|              |                 | 961      | 906         | 14    | 48    |
| 534-20160467 | Φ 380/Φ 352×250 | 969      | 903         | 16    | 43    |
|              |                 | 981      | 917         | 16    | 47    |
| 534-20180940 | Φ 390/Φ 340×220 | 997      | 940         | 15    | 44    |
|              |                 | 997      | 928         | 16.5  | 45    |
| 534-20160467 | Φ 170/Φ 124×320 | 989      | 912         | 12    | 30    |
|              |                 | 971      | 901         | 12    | 31    |
| 534-20181327 | Φ 310/Φ 250×95  | 996      | 943         | 17    | 42    |
|              |                 | 999      | 959         | 16.5  | 43    |
| 534-20161855 | Φ 325/Φ 293×55  | 1022     | 986         | 17    | 41    |
|              |                 | 1023     | 985         | 16    | 44    |
| 534-20170565 | Φ 269/Φ 106×45  | 958      | 882         | 14    | 32    |
|              |                 | 949      | 876         | 13    | 40    |
| 534-20170706 | Φ 594/Φ 234×220 | 990      | 930         | 14.5  | 40.5  |
|              |                 | 995      | 930         | 15.5  | 41.5  |
| 534-20170706 | Φ 594/Φ 244×137 | 975      | 905         | 15.5  | 42.5  |
|              |                 | 990      | 935         | 15    | 42.5  |
| 534-20170706 | Φ 594/Φ 238×262 | 970      | 905         | 14    | 39.5  |
|              |                 | 970      | 895         | 19    | 40    |
| 534-20170706 | Φ 594/Φ 238×229 | 990      | 925         | 15    | 38.5  |
|              |                 | 990      | 925         | 15    | 39    |

表 8 高温性能原始数据

| 锭号           | 规格              | 500℃ 高拉  |             |       |       |
|--------------|-----------------|----------|-------------|-------|-------|
|              |                 | Rm (Mpa) | Rp0.2 (Mpa) | A (%) | Z (%) |
| 515-20180752 | Φ 310/Φ 270×200 | 659      | 533         | 22    | 65    |
|              |                 | 654      | 531         | 21.5  | 65    |
| 515-20170814 | Φ 380/Φ 250×565 | 636      | /           | /     | /     |
|              |                 | 652      | /           | /     | /     |
| 515-20141899 | Φ 386/Φ 344×30  | 658      | /           | /     | /     |
|              |                 | 660      | /           | /     | /     |
| 515-20180649 | Φ 122/Φ 109×62  | 633      | /           | 22.5  | 62    |
|              |                 | 624      | /           | 28.5  | 63    |
| 515-20152114 | Φ 341/Φ 297×210 | 635      | /           | /     | /     |
|              |                 | 630      | /           | /     | /     |
| 515-20161749 | Φ 230/Φ 145×500 | 645      | /           | /     | /     |
|              |                 | 650      | /           | /     | /     |

1) 室温抗拉强度分析

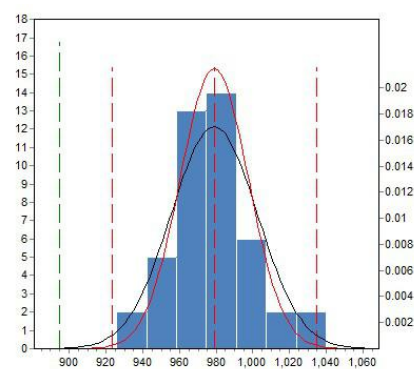


图 1 抗拉强度正态分布图

表 9 抗拉强度分析表

|          |         |         |       |     |     |
|----------|---------|---------|-------|-----|-----|
| 总样本数     | 44      | CPK     | 1.51  |     |     |
| 平均值      | 979     | 最大值     | 1040  | 最小值 | 926 |
| 下限值(标准值) |         |         | 895   |     |     |
| +3Sigma  | 1034.75 | -3Sigma | 923.3 |     |     |

经分析，抗拉强度的 CPK 值整体分析为 1.51，表明生产过程相当稳定，富余度较大。

2) 室温屈服强度分析

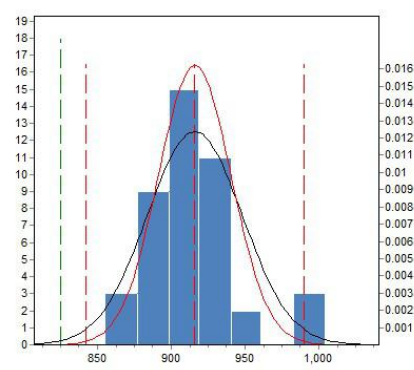




图 2 屈服强度正态分布图

表 10 屈服强度分析表

|          |        |         |        |     |     |
|----------|--------|---------|--------|-----|-----|
| 总样本数     | 44     | CPK     | 1.23   |     |     |
| 平均值      | 916    | 最大值     | 1004   | 最小值 | 856 |
| 下限值(标准值) |        |         | 825    |     |     |
| +3Sigma  | 989.93 | -3Sigma | 842.21 |     |     |

经分析，抗拉强度的 CPK 值整体分析为 1.23，表明生产过程稳定，可控。

3) 室温断后伸长率分析

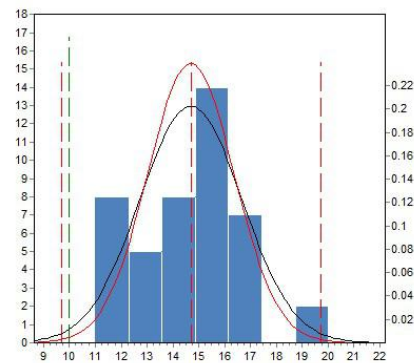


图 3 断后伸长率正态分布图

表 11 断后伸长率分析表

|          |        |         |       |     |    |
|----------|--------|---------|-------|-----|----|
| 总样本数     | 44     | CPK     | 1.669 |     |    |
| 平均值      | 14.693 | 最大值     | 20    | 最小值 | 11 |
| 下限值(标准值) |        |         | 825   |     |    |
| +3Sigma  | 19.7   | -3Sigma | 9.69  |     |    |

经分析，抗拉强度的 CPK 值整体分析为 1.51，表明生产过程相当稳定，富余度较大。

4) 室温断后收缩率分析

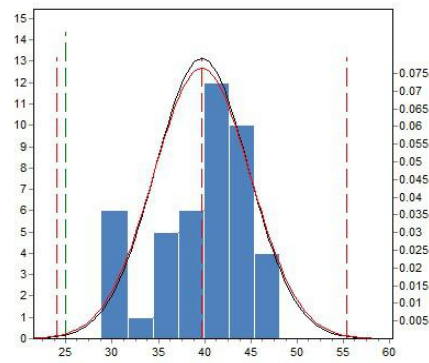


图 4 断后收缩率正态分布图

表 12 断后收缩率分析表

|      |        |     |      |     |    |
|------|--------|-----|------|-----|----|
| 总样本数 | 44     | CPK | 0.94 |     |    |
| 平均值  | 39.705 | 最大值 | 48   | 最小值 | 29 |

|          |       |         |       |
|----------|-------|---------|-------|
| 下限值(标准值) |       |         | 25    |
| +3Sigma  | 55.35 | -3Sigma | 24.06 |

经分析，抗拉强度的 CPK 值整体分析为 0.94，表明生产过程稳定还有提高余地。

5) 高温抗拉强度分析

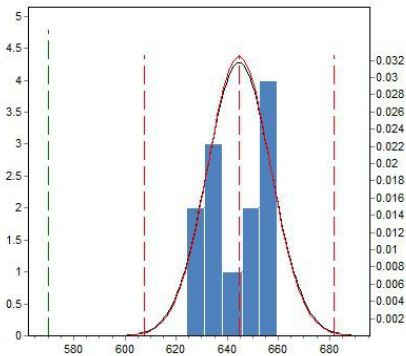


图 5 抗拉强度正态分布图  
表 13 抗拉强度分析表

|          |        |         |        |     |     |
|----------|--------|---------|--------|-----|-----|
| 总样本数     | 12     | CPK     | 2.02   |     |     |
| 平均值      | 644.7  | 最大值     | 660    | 最小值 | 624 |
| 下限值(标准值) |        |         | 570    |     |     |
| +3Sigma  | 681.55 | -3Sigma | 607.78 |     |     |

经分析，抗拉强度的 CPK 值整体分析为 1.51，表明生产过程相当稳定，富余度较大。

3.2 验证分析结论

本标准对主要技术参数规定是合理可行的，同时产品性能稳定性有一定富余度及可提升空间，通过本标准的实施，将促进航空航天用钛行业的整体技术提高与发展，有利于新型高效的新产品的发展。

三、标准水平分析

1. 采用国际标准的程度

本标准参考了 ASTM B348、AMS4967、AMS4928、OCT1 90107 等标准制定。其中尺寸规格及相应力学性能指标与国外标准一致或更严，进一步提高了产品的质量水平。

2. 国际、国外同类标准水平的对比分析

本规范中的 TA7、TA15、TC1、TC2、TC6 和 TC25 五种钛合金牌号，对应的前苏联牌号分别为 BT5-1、BT20、OT4-1、OT4、BT3-1 和 BT25，相关产品标准有航空工业行业标准 OCT1 90000-70《钛合金模锻件和锻件》及 OCT1 90043-72《整体轧制钛合金环形件技术要求》。本规范中 TA19 钛合金对应美国的 Ti-6242，相关的产品标准有 AMS4975 和

AMS4976。本规范与国外同类标准的综合比较如下：

## 2.1 化学成分

本规范与 OCT 1 和 AMS 的主要化学成分完全相同。

## 2.2 力学性能

其力学性能对比见表 14、表 15 和表 16。由此可见，本规范的力学性能指标不低于国外同类标准的水平。

## 2.3 超声检验

本规范的产品有超声检验要求，而 OCT 1 和 AMS 4975、AMS4976 标准中均无该要求。

综上，本规范的技术要求不低于国外同类产品的要求。

表 14

| 标准               | 牌号    | 室温力学性能，不小于                     |                                     |            |            |
|------------------|-------|--------------------------------|-------------------------------------|------------|------------|
|                  |       | $R_m$ ,<br>kgf/mm <sup>2</sup> | $R_{p0.2}$ ,<br>kgf/mm <sup>2</sup> | $A$ ,<br>% | $Z$ ,<br>% |
| 本规范              | TA7   | 785MPa                         | 680MPa                              | 10         | 25         |
|                  | TA15  | 885~1130MPa                    | 815MPa                              | 8          | 20         |
|                  | TC1   | 585MPa                         | 460MPa                              | 15         | 30         |
|                  | TC2   | 685MPa                         | 560MPa                              | 12         | 30         |
|                  | TC6   | 980MPa                         | 880MPa                              | 10         | 25         |
|                  |       | 940MPa                         | 840MPa                              | 8          | 20         |
| OCT1<br>90000-70 | BT5-1 | 80~100                         | /                                   | 10         | 25         |
|                  | BT20  | 95~115                         | /                                   | 10         | 25         |
|                  |       | 90~115                         | /                                   | 8          | 20         |
|                  | OT4-1 | 60~75                          | /                                   | 15         | 35         |
|                  |       | 55~75                          | /                                   | 12         | 23         |
|                  |       | 55~75                          | /                                   | 10         | 23         |
|                  | OT4   | 70~90                          | /                                   | 10         | 30         |
|                  |       | 65~90                          | /                                   | 8.5        | 20         |
|                  | BT3-1 | 100~120                        | /                                   | 10         | 25         |
|                  |       | 95~120                         | /                                   | 8          | 20         |
| OCT1<br>90043-72 | BT3-1 | 95                             | /                                   | 8          | 20         |
|                  | BT20  | 95                             | /                                   | 8          | 20         |

表 15

| 标准               | 牌号    | 温度  | 高温力学性能，不小于                  |                                |            |
|------------------|-------|-----|-----------------------------|--------------------------------|------------|
|                  |       |     | $R_m$ , kgf/mm <sup>2</sup> | 持久性能                           |            |
|                  |       |     |                             | $\sigma$ , kgf/mm <sup>2</sup> | $\tau$ , h |
| 本规范              | TA15  | 500 | ≥570MPa                     | 470MPa                         | ≥50        |
|                  | TC6   | 400 | ≥735MPa                     | 665MPa                         | ≥100       |
| OCT1<br>90000-70 | BT20  | 500 | 65                          | 48/45                          | 50/100     |
|                  | BT3-1 | 400 | 72                          | 70/68                          | 50/100     |
|                  |       | 450 | 65                          | 58/55                          | 50/100     |

表 16

| 标准  | 牌号   | 重量或规格  | 室温力学性能，不小于        |                             |                |            |
|-----|------|--------|-------------------|-----------------------------|----------------|------------|
|     |      |        | 抗拉强度 $R_m$<br>MPa | 规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$<br>MPa | 断后伸长率 $A$<br>% | 断面收缩率<br>% |
| 本规范 | TA19 | ≤150kg | 895               | 825                         | 10             | 25         |

|                    |         |       |     |     |    |    |
|--------------------|---------|-------|-----|-----|----|----|
| AMS4975<br>AMS4976 | Ti-6242 | ≤76mm | 896 | 827 | 10 | 25 |
|--------------------|---------|-------|-----|-----|----|----|

#### 四、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

该标准的制定符合现行法律、法规的要求，本标准与其他强制性国家标准无矛盾与不协调之处。

#### 五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

#### 六、标准作为强制性或推荐性标准的建议

鉴于国内目前没有关于航空航天用高温钛合金锻件专用的国家标准，因此建议该标准作为推荐性国家标准。

#### 七、贯彻标准的要求和措施建议，包括：组织措施、技术措施、过渡办法

无。

#### 八、废止现行有关标准的建议

无。

#### 九、其他应予说明的事项

无。

#### 十、预期效果

本标准是新制定国家标准，具有普遍性、广泛性和适用性。本标准的实施，将为航空航天用高温钛合金锻件质量控制提供指导，在满足国内需求的同时提高了在国际市场上的竞争实力；同时可促进该行业的健康、可持续发展，进一步提高和完善我国航空航天钛合金锻件生产及装备技术水平，对我国钛行业的发展会产生重要的影响。

《航空航天用高温钛合金锻件》标准编制组

2019年6月