



中华人民共和国国家标准

GB/T 38915—2020

航空航天用高温钛合金锻件

High temperature titanium alloy forgings for aerospace

2020-06-02 发布

2021-04-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国有色金属工业协会提出。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)归口。

本标准起草单位: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、中国科学院金属研究所、中航沈飞民用飞机有限责任公司、宝武特种冶金有限公司、湖南金天钛业科技有限公司。

本标准主要起草人:胡志杰、冯军宁、陈秉刚、张江峰、岳旭、朱绍祥、孙红军、解晨、白智辉、马忠贤、冯永琦、何书林、高颀、贾栓孝、孟庆通、樊凯。



航空航天用高温钛合金锻件

1 范围

本标准规定了航空航天用高温钛合金锻件的技术要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输、贮存及质量证明书与订货单(或合同)内容。

本标准适用于锻造和轧制方法生产的高温钛合金锻件(以下简称锻件)。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 228.1—2010 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法

GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分:高温试验方法

GB/T 2039 金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法

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 4698(所有部分) 海绵钛、钛及钛合金化学分析方法

GB/T 5168 钛及钛合金高低倍组织检验方法

GB/T 5193 钛及钛合金加工产品超声检验方法

GB/T 8180 钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存

GB/T 23605 钛合金 β 转变温度测定方法

YS/T 1262 海绵钛、钛及钛合金化学分析方法 多元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法

3 技术要求

3.1 材料

3.1.1 用于锻件生产的铸锭应至少熔炼两次,最后一次应采用真空自耗电弧炉熔炼。首次可使用自耗电极、电子束冷床炉或等离子束冷床炉熔炼,最后一次熔炼时不准许添加任何元素。

3.1.2 自耗电极不应使用钨极氩弧焊焊接。

3.2 牌号、状态和规格

锻件的牌号、状态和规格应符合表1的规定。

表 1 牌号、状态及规格

牌号	供应状态 ^a	产品形式	规格 ^b			
			mm			
			外径 <i>D</i>	内径 <i>d</i>	截面高度 <i>H</i>	环材壁厚
TA 7、TA 15、TA 19、TA 32、 TA 33、TC1、TC2、TC4、TC6、 TC11、TC17、TC25、TC31	热加工态(R) 退火态(M)	饼材	150~500	—	<i>H</i> < <i>D</i>	—
			>500~1 000	—	50~500	—
		环材	200~500	100~400	25~300	25~150
			>500~900	300~850	45~500	25~250
			>900~1 500	400~1 450	110~700	25~400

^a TC11 钛合金锻件的供应状态一般为热加工态(R),其退火态(M)仅限壁厚或高度不大于 100 mm 的锻件。

^b 除饼材、环材外的其他锻件规格应符合订货图样的规定。

3.3 化学成分

3.3.1 锻件的化学成分应符合 GB/T 3620.1 的规定。

3.3.2 需方从锻件取样进行化学成分复验时,化学成分允许偏差应符合 GB/T 3620.2 的规定。

3.4 力学性能

3.4.1 锻件的力学性能在经热处理后(退火态不需重新热处理)的试样坯上测试。试样的推荐热处理制度宜参照表 2 进行,为保证材料性能,供方可依据实际需要,选用表 2 以外的其他热处理制度。

表 2 推荐热处理制度

牌号	热处理制度
TA7	750 ℃~850 ℃,1 h~4 h,空冷
TA15	700 ℃~850 ℃,1 h~4 h,空冷
TA19	955 ℃~985 ℃,保温 1 h~2 h,空冷;575 ℃~605 ℃,保温 8 h,空冷
TA32	($T_{\beta}-20$) ℃,保温 1 h~2 h,空冷或更快速度冷却;590 ℃~610 ℃,保温 2 h,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	($T_{\beta}-20$) ℃,保温 1 h~2 h,空冷或更快速度冷却;680 ℃~720 ℃,保温 2 h,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~4 h,空冷
TC2	700 ℃~850 ℃,1 h~4 h,空冷
TC4	700 ℃~800 ℃,1 h~4 h,空冷
TC6	860 ℃~920 ℃,保温 1 h~2 h;随炉或转炉冷却至 600 ℃~650 ℃,保温 2 h,空冷
TC11	950 ℃ \pm 10 ℃,1 h~3 h,空冷;530 ℃ \pm 10 ℃,6 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
TC17	840 ℃ \pm 10 ℃,保温 1 h~4 h,空冷;800 ℃ \pm 10 ℃,保温 2 h,水冷;630 ℃ \pm 10 ℃,保温 8 h,空冷

表 2 (续)

牌号	热处理制度
TC25	950 ℃~970 ℃,保温 1 h~4 h,空冷;530 ℃~570 ℃,保温 6 h~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	$(T_{\beta}-30)$ ℃,保温 1 h~2 h,空冷;450 ℃~650 ℃,保温 4 h~8 h,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
注: T_{β} 表示 β 转变温度。	

3.4.2 纵剖面不大于 100 cm² 的锻件,其室温力学性能应符合表 3 的规定。

表 3 室温力学性能

牌号	室温力学性能,不小于			
	抗拉强度 R_m MPa	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ MPa	断后伸长率 A %	断面收缩率 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
TC4	895	825	10	25
TC6	940	840	8	20
TC11	1 030	910	10	30
TC17	1 120	1 030	7	15
TC25	980	860	8	18
TC31	1 000	900	6	10

3.4.3 纵剖面不大于 100 cm² 的锻件,其高温力学性能应符合表 4 的规定。

表 4 高温力学性能

牌号	试验温度 ℃	高温力学性能		
		抗拉强度 R_m MPa	持久性能	
			试验应力 σ MPa	试验时间 t h
TA7	350	≥490	440	≥100
TA15	500	≥570	470	≥50
TA19	480	≥620	—	—
	525	—	480	≥35

表 4 (续)

牌号	试验温度 ℃	高温力学性能		
		抗拉强度 R_m MPa	持久性能	
			试验应力 σ MPa	试验时间 t h
TA32	550	≥ 560	430	≥ 100
TA33	600	≥ 600	310	≥ 100
TC1	350	≥ 345	325	≥ 100
TC2	350	≥ 420	390	≥ 100
TC4	400	≥ 620	570	≥ 100
TC6	400	≥ 735	665	≥ 100
TC11 ^a	500	≥ 685	590	≥ 100
			640	≥ 35
TC17	400	≥ 885	685	≥ 100
TC25	500	≥ 735	637	≥ 50
	550	≥ 685	441	≥ 50
TC31	650	≥ 500	420	≥ 0.75

^a TC11 锻件的持久性能按试验应力 640 MPa, 试验时间 ≥ 35 h 的试验时间的规定进行检验, 仲裁检验按试验应力 590 MPa, 试验时间 ≥ 100 h 的试验时间的规定进行检验。

3.4.4 纵剖面大于 100 cm^2 的锻件, 当需方要求并在合同中注明时, 可测定锻件的力学性能, 报实测值或由供需双方协商确定指标。

3.5 尺寸和外形

3.5.1 锻件经车光后交货, 尺寸及其允许偏差应符合表 5 的规定。

表 5 尺寸允许偏差

单位为毫米

饼材				环材					
直径	允许偏差	截面高度	允许偏差	外径	允许偏差	内径	允许偏差	截面高度	允许偏差
150~300	$+3$ -1	25~50	$+2$ 0	200~400	$+3$ -1	100~300	$+1$ -3	25~100	$+2$ 0
$>300\sim 600$	$+3$ -2	$>50\sim 200$	$+3$ -1	$>400\sim 600$	$+3$ -2	$>300\sim 500$	$+2$ -3	$>100\sim 200$	$+2$ -1
$>600\sim 1000$	$+5$ -3	$>200\sim 500$	$+4$ -2	$>600\sim 900$	$+5$ -3	$>500\sim 800$	$+3$ -5	$>200\sim 350$	$+4$ -1
—	—	—	—	$>900\sim 1\ 200$	$+6$ -3	$>800\sim 1\ 100$	$+3$ -6	$>350\sim 500$	$+4$ -2
—	—	—	—	$>1\ 200\sim 1\ 500$	$+8$ -4	$>1\ 100\sim 1\ 450$	$+4$ -8	$>500\sim 700$	$+5$ -3

3.5.2 锻件的倒角半径 R 为 3 mm~10 mm。

3.6 β 转变温度

锻件应按熔炼炉号提供 β 转变温度。 β 转变温度仅提供实测值,不作为判定依据。

3.7 超声检测

锻件应进行超声检测。超声检测结果应符合 GB/T 5193 的规定,其验收级别见表 6。

表 6 超声检测验收级别

产品截面高度或壁厚 mm	验收级别
≤ 150	A
> 150	B

3.8 低倍组织

锻件的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。

3.9 显微组织

经热处理后,锻件的显微组织应符合如下要求:

- a) TA7 钛合金的显微组织应是等轴 α 组织或等轴和拉长 α 组织,以及部分破碎和扭曲的晶界 α 及片状 α ,无完整的原始 β 晶界。
- b) 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 β 晶界。在转变的 β 基体上的等轴 α 组织、或等轴 α 和拉长 α 组织,以及部分破碎和扭曲的晶界 α 及片状 α 都是可接受的组织。

3.10 外观质量

3.10.1 锻件表面允许存在不大于尺寸允许偏差之半的轻微划伤、压痕、麻点和皱褶等缺陷。

3.10.2 锻件表面局部缺陷应予以清除,清理深度不超过锻件的尺寸允许偏差;且清除区域的深度与宽度之比不应大于 1:6。

3.11 表面粗糙度

锻件表面粗糙度的 Ra 值不应大于 3.2 μm (以满足超声检测要求为准)。

4 试验方法

- 4.1 化学成分分析按 GB/T 4698 或 YS/T 1262 进行,化学成分仲裁分析按 GB/T 4698 进行。
- 4.2 室温拉伸试验按 GB/T 228.1—2010 进行,室温拉伸试验选用 R7 试样。
- 4.3 高温拉伸试验按 GB/T 228.2 进行,选用直径为 5 mm 的试样。
- 4.4 高温持久试验按 GB/T 2039 进行。
- 4.5 尺寸和外形检验用相应精度的量具进行。
- 4.6 β 转变温度用 GB/T 23605 或其他方法测定。
- 4.7 超声检测按 GB/T 5193 进行。

- 4.8 低倍、显微组织检验按 GB/T 5168 进行。
- 4.9 外观质量检验用目视及相应精度的量具进行。
- 4.10 表面粗糙度检验用标块对比法进行。

5 检验规则

5.1 检查和验收

- 5.1.1 锻件应由供方进行检验,保证锻件质量符合本标准的规定,并填写质量证明书。
- 5.1.2 需方应对收到的锻件按本标准及订货单(或合同)的规定进行复验。复验结果与本标准及订货单(或合同)的规定不符时,应以书面形式向供方提出,由供需双方协商解决。属于外观质量及尺寸外形的异议,应在收到锻件之日起一个月内提出,属于其他性能的异议,应在收到锻件之日起三个月内提出。如需仲裁,仲裁取样由供需双方共同进行。

5.2 组批

锻件应成批提交验收。每批应由同一牌号、熔炼炉号、规格、生产工艺、状态和同一生产周期的锻件组成。

5.3 检验项目

每批锻件应进行化学成分、室温力学性能、高温力学性能、 β 转变温度、超声检测、尺寸和外形、低倍组织、显微组织、外观质量和表面粗糙度的检验。

5.4 取样

- 5.4.1 每批锻件任取一件剖成两半或在任一件上截取并解剖试样环,供方在其中一半进行性能、组织等项目的测试,另一半交需方做复验用。
- 5.4.2 当合同注明时,同一铸锭采用相近工艺同时生产几种规格相近的锻件时,可以用最大规格(截面)锻件的检验结果(包括力学性能和组织)代表其他几种规格。
- 5.4.3 锻件的取样规则应符合表 7 的规定。

表 7 取样位置及数量

检验项目	取样规定	要求的章条号	试验方法的章条号
化学成分 ^a	每批 1 份	3.3	4.1
力学性能 ^b	每批按测试项目各取 2 个弦向试样	3.4	4.2、4.3、4.4
尺寸和外形	逐件	3.5	4.5
β 转变温度 ^c	任意部位,每批 1 份	3.6	4.6
超声检测	逐件	3.7	4.7
低倍组织	每批取 1 个纵剖面	3.8	4.8
显微组织	每批取 1 个横向试样	3.9	4.8
外观质量	逐件	3.10	4.9
表面粗糙度	逐件	3.11	4.10
^a 氢含量在成品上取样;其他化学成分,供方以原铸锭的分析结果报出,需方复验均在锻件上取样。 ^b 尺寸太小不够取弦向时,可取纵向试样。 ^c 供方可按铸锭的分析结果报出,需方在锻件上取样检验。			

5.5 检验结果的判定

5.5.1 化学成分分析结果中有试样不合格时,应从该批锻件中另取双倍数量的试样对该不合格元素进行重复试验。若重复检验结果全部合格,判该批锻件合格;若重复试验仍有结果不合格,判该批锻件不合格。

5.5.2 力学性能检验结果中有试样不合格时,应从该批锻件(包括原受检锻件)中另取双倍数量的试样对该不合格项目进行重复试验。试验结果全部合格,判该批锻件合格;若重复试验仍有结果不合格,判该批锻件不合格。但允许供方重新热处理后重新取样检验,重新热处理仅限一次。

5.5.3 低倍组织检验按如下规则判定:

- a) 低倍组织检验中,如发现并判为有脆性偏析(其硬度明显高于基体的偏析,常见的如富氧、富氮等偏析),该判批锻件不合格;如判为有非脆性偏析,允许剔除后重新组批交货。
- b) 低倍组织中有裂纹、缩尾、气孔、金属或非金属夹杂时,允许供方逐根检验,剔除缺陷,合格者交货。

5.5.4 显微组织检验不合格时,判该批锻件不合格,但允许供方对其余锻件逐件检验,合格者重新组批交货。

5.5.5 尺寸和外形、超声检测、外观质量、表面粗糙度不合格时,判单个锻件不合格。

6 标志、包装、运输、贮存及质量证明书

6.1 产品标志

在检验合格的每件锻件上应标记如下内容:

- a) 牌号;
- b) 批号或熔炼炉号;
- c) 规格;
- d) 供应状态。

6.2 包装、标志、运输和贮存

锻件的包装、标志、运输和贮存应符合 GB/T 8180 的规定。

6.3 质量证明书

每批锻件应附有质量证明书,其上注明:

- a) 供方名称;
- b) 产品名称;
- c) 牌号;
- d) 规格;
- e) 供应状态;
- f) 批号或熔炼炉号;
- g) 净重和件数;
- h) 各项分析检验结果和质量检验部门印记;
- i) 本标准编号;
- j) 出厂日期(或包装日期)。

7 订货单(或合同)内容

订购本标准所列锻件的订货单(或合同)内应包括如下内容:

- a) 产品名称;
 - b) 牌号;
 - c) 状态;
 - d) 规格;
 - e) 件数;
 - f) 本标准编号;
 - g) 其他。
-