



中华人民共和国国家标准

GB/T 38916—2020

航空航天用高温钛合金板材

High temperature titanium alloy plate and sheet 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。

本标准主要起草人：郭金榜、马忠贤、白智辉、解晨、王勤波、胡志杰、冯军宁、张江峰、朱绍祥、贾大炜、冯永琦、高颀、贾栓孝。



航空航天用高温钛合金板材

1 范围

本标准规定了航空航天用高温钛合金板材的技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输、贮存、质量证明书和订货单(或合同)内容。

本标准适用于轧制方法生产的钛合金板材。

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 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法

GB/T 2039—1997 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 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 23603 钛及钛合金表面污染层检测方法

GB/T 23605 钛合金 β 转变温度测定方法

YS/T 1001 钛及钛合金薄板超声波检测方法

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 用于生产板材的铸锭应至少熔炼两次。第一次熔炼可采用真空自耗电弧炉或冷床炉熔炼,随后的熔炼应采用真空自耗电弧炉熔炼,且最后一次熔炼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

板材的牌号、状态和规格应符合表1的规定。

表 1 牌号、状态和规格

牌号	状态	规格/mm		
		厚度	宽度	长度
TA6、TA7、TA15、 TC1、TC2、TC3、TC4	退火态(M)	0.5~5.0	400~1 800	1 000~4 000
		>5.0~100.0	400~3 000	1 000~6 000

3.3 化学成分

3.3.1 板材的化学成分应符合 GB/T 3620.1 的规定。

3.3.2 需方从板材上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 外形尺寸及其允许偏差

3.4.1 板材的厚度允许偏差应符合表 2 的规定。

表 2 厚度允许偏差

单位为毫米

板材厚度	规定宽度范围的厚度允许偏差		
	400~1 000	>1 000~2 000	>2 000~3 000
0.5~0.8	±0.07	±0.09	—
>0.8~1.0	±0.09	±0.10	—
>1.0~1.5	±0.10	±0.13	—
>1.5~2.0	±0.13	±0.15	—
>2.0~2.5	±0.15	±0.18	—
>2.5~3.0	±0.18	±0.22	—
>3.0~5.0	±0.22	±0.30	—
>5.0~6.0	±0.22	±0.40	±0.80
>6.0~8.0	±0.35	±0.60	±0.80
>8.0~10.0	±0.40	±0.60	±0.80
>10.0~15.0	±0.50	±0.80	±1.00
>15.0~20.0	±0.70	±0.90	±1.10
>20.0~30.0	±0.90	±1.00	±1.20
>30.0~40.0	±1.10	±1.20	±1.50
>40.0~50.0	±1.20	±1.50	±2.00
>50.0~70.0	±1.60	±2.00	±2.50
>70.0~100.0	±2.00	±2.50	±2.50

3.4.2 板材的宽度和长度允许偏差应符合表 3 的规定。

表 3 宽度和长度允许偏差

单位为毫米

板材厚度	规定宽度范围的宽度允许偏差		规定长度范围的长度允许偏差	
	400~1 000	>1 000~3 000	1 000~4 000	>4 000~6 000
0.5~5.0	+5 0	+5 0	+10 0	—
>5.0~30.0	+5 0	+10 0	+10 0	+15 0
>30.0~50.0	+8 0	+10 0	+10 0	+15 0
>50.0~100.0	+10 0	+15 0	+10 0	+15 0

3.4.3 板材的不平度应符合表 4 的规定。需方要求并在合同中注明时,板材的不平度不应大于 3 mm/m,各角距平台的间距不应大于 5 mm。

表 4 不平度

板材厚度 mm	规定宽度范围的不平度,不大于		
	400 mm~1 000 mm	>1 000 mm~2 000 mm	>2 000 mm~3 000 mm
0.5~5.0	10 mm/m	12 mm/m	—
>5.0~10.0	10 mm/m	12 mm/m	15 mm/m
>10.0~50.0	8 mm/m	10 mm/m	12 mm/m
>50.0~100.0	6 mm/m	8 mm/m	10 mm/m

3.4.4 板材的侧边弯曲度不应大于 3 mm/m。

3.4.5 板材边部应切成直角,且无裂口、卷边、毛刺,切斜不应超过板材长度和宽度的允许偏差。

3.5 力学性能

3.5.1 板材的室温力学性能应符合表 5 的规定。

表 5 室温力学性能

牌号	状态	板材厚度 mm	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 %	冲击吸收 能量 KU_2^a J
TA6	M	0.8~1.5	685~850	≥ 605	≥ 20	—	—
		>1.5~2.0	685~850	≥ 605	≥ 15	—	—
		>2.0~25.0	685~850	≥ 605	≥ 12	—	—
TA7	M	0.8~1.5	765~930	≥ 685	≥ 20	—	—
		>1.5~2.0	765~930	≥ 685	≥ 15	—	—
		>2.0~10.0	765~930	≥ 685	≥ 12	—	—
		>10.0~30.0	730~900	≥ 660	≥ 9	—	—

表 5 (续)

牌号	状态	板材厚度 mm	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 %	冲击吸收 能量 KU_2^a J
TA15	M	0.8~1.8	930~1130	≥ 855	≥ 12	—	—
		>1.8~4.0	930~1130	≥ 855	≥ 10	—	—
		>4.0~12.0	930~1130	≥ 855	≥ 8	—	—
		>12.0~70.0	930~1130	≥ 855	≥ 6	≥ 12	≥ 24
TC1	M	0.5~2.0	590~735	≥ 460	≥ 25	—	—
		>2.0~10.0	590~735	≥ 460	≥ 20	—	—
TC2	M	0.5~1.0	685~920	≥ 620	≥ 25	—	—
		>1.0~2.0	685~920	≥ 620	≥ 15	—	—
		>2.0~25.0	685~920	≥ 620	≥ 12	—	—
TC3	M	0.5~2.0	880~1 080	≥ 820	≥ 12	—	—
		>2.0~10.0	880~1 080	≥ 820	≥ 10	—	—
TC4	M	0.5~4.0	925~1 150	≥ 870	≥ 12	—	—
		>4.0~5.0	925~1 150	≥ 870	≥ 10	—	—
		>5.0~10.0	895~1 100	≥ 825	≥ 10	—	—
		>10.0~100.0	895~1 100	≥ 825	≥ 9	—	—

^a 冲击吸收能量为一组三个冲击试样测试结果的算术平均值。允许其中一个试样的测试结果小于规定的平均值,但不应小于该平均值的 70%。

3.5.2 板材的高温力学性能应符合表 6 的规定。

表 6 高温力学性能

牌号	板材厚度 mm	试验温度 ℃	抗拉强度 R_m MPa	持久性能	
				试验应力 σ MPa	试验时间 τ h
TA6	0.8~25.0	350	≥ 420	390	≥ 100
		500	≥ 340	195	≥ 100
TA7	0.8~30.0	350	≥ 490	440	≥ 100
		500	≥ 440	195	≥ 100
TA15 ^a	0.8~<30.0	500	≥ 635	470	≥ 50
		500	≥ 635	440	≥ 100
	30.0~70.0	500	≥ 570	470	≥ 50
		500	≥ 570	440	≥ 100
TC1	0.5~10.0	350	≥ 340	320	≥ 100
		400	≥ 310	295	≥ 100

表 6 (续)

牌号	板材厚度 mm	试验温度 ℃	抗拉强度 R_m MPa	持久性能	
				试验应力 σ MPa	试验时间 τ h
TC2	0.5~25.0	350	≥ 420	390	≥ 100
		400	≥ 390	360	≥ 100
TC3	0.5~10.0	400	≥ 590	540	≥ 100
	0.5~10.0	500	≥ 440	195	≥ 100
TC4	0.5~30.0	400	≥ 590	540	≥ 100
	0.5~30.0	500	≥ 440	195	≥ 100

^a TA15 板材的持久性能按试验应力 470 MPa, 试验时间 ≥ 50 h 的试验时间的规定进行检验, 仲裁检验按试验应力 440 MPa, 试验时间 ≥ 100 h 的试验时间的规定进行检验。

3.6 弯曲性能

板材应进行弯曲试验, 弯曲部位应无裂纹。弯曲压头直径和弯曲角应符合表 7 的规定。

表 7 弯曲性能

牌号	厚度 mm	弯曲压头直径 mm	弯曲角 (°)
TA6	0.8~1.5	3T	≥ 50
	$> 1.5 \sim 5.0$	3T	≥ 40
TA7	0.8~2.0	3T	≥ 50
	$> 2.0 \sim 5.0$	3T	≥ 40
TA15	0.8~6.0	3T	≥ 30
TC1	0.5~1.0	3T	≥ 100
	$> 1.0 \sim 2.0$	3T	≥ 70
	$> 2.0 \sim 5.0$	3T	≥ 60
TC2	0.5~1.0	3T	≥ 80
	$> 1.0 \sim 2.0$	3T	≥ 60
	$> 2.0 \sim 5.0$	3T	≥ 50
TC3	0.5~2.0	3T	≥ 35
	$> 2.0 \sim 5.0$	3T	≥ 30
TC4	0.5~1.78	9T	≥ 105
	$> 1.78 \sim 4.75$	10T	≥ 105

注: T 为弯曲试样的厚度。

3.7 低倍组织

厚度不小于 5 mm 的板材低倍组织不准许有分层、裂纹、气孔、偏析、金属和非金属夹杂及其他目视可见的冶金缺陷。

3.8 显微组织

TA15、TC1、TC2、TC3 和 TC4 板材的显微组织应为在 $\alpha+\beta$ 两相区充分变形并经退火得到的组织,原始 β 晶粒应充分破碎,不准许存在连续的晶界 α 。

3.9 表面污染

板材应无任何富氧层,如 α 层或其他表面污染。

3.10 超声检测

板材应进行超声检测,其中厚度不大于 6.0 mm 的产品检测结果应符合 YS/T 1001 的规定;厚度大于 6.0 mm 的产品检测结果应符合 GB/T 5193 中 A1 级的规定。

3.11 β 转变温度

需方要求并在合同中注明时,板材可按熔炼炉号提供 β 转变温度。 β 转变温度仅提供实测值,不作为判定依据。

3.12 表面质量

3.12.1 板材应以酸洗、水磨、喷砂或机加工表面供货。

3.12.2 板材表面应光洁,允许通过修磨的方法清除表面的局部缺陷,但清除后应保证板材的最小允许厚度。

3.12.3 清除表面局部缺陷时,应沿轧制方向修磨,修磨后板材应经酸洗、水磨、喷砂或机加工的方式使板材表面光泽和粗糙度趋于一致。

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 外形尺寸及其允许偏差用相应精度的量具进行。其中厚度允许偏差在距顶角不小于 100 mm 和距边部不小于 10 mm 部位进行测量。

4.3 室温拉伸按 GB/T 228.1—2010 进行检验。厚度小于 3.0 mm 的板材取 P1 试样,厚度 3.0 mm~6.0 mm 的板材取 P7 试样;厚度 >6.0 mm~10.0 mm 的板材取 P7 或 R8 试样;厚度大于 10.0 mm 的板材取 P7 或 R7 试样。断面收缩率的检验应在 R7 或 R8 的圆形横截面比例试样上进行。

4.4 室温冲击按 GB/T 229 进行检验。

4.5 高温拉伸按 GB/T 228.2 进行检验。

4.6 高温持久按 GB/T 2039—1997 进行检验。

4.7 弯曲性能按 GB/T 232 进行检验,试样的宽度为 15 mm。

4.8 低倍组织按 GB/T 5168 进行检验。

4.9 显微组织按 GB/T 5168 进行检验。

4.10 表面污染按 GB/T 23603 进行检验,放大倍数不小于 100 倍。

4.11 厚度不大于 6 mm 板材的超声检测按 YS/T 1001 进行检验;厚度大于 6 mm 板材的超声检测按

GB/T 5193 进行检验。

4.12 β 转变温度按 GB/T 23605 进行检验。

4.13 表面质量用目视进行检查。

5 检验规则

5.1 检查和验收

5.1.1 产品应由供方进行检验,保证产品质量符合本标准及订货单(或合同)的规定,并填写质量证明书。

5.1.2 需方应对收到的产品按本标准及订货单(或合同)的规定进行检验。如检验结果与本标准及订货单(或合同)的规定不符时,应在收到产品之日起 3 个月内向供方提出,由供需双方协商解决。

5.2 组批

产品应成批提交验收,每批应由同一牌号、熔炼炉号、规格、制造方法、状态和同一热处理炉批的产品组成。

5.3 检验项目及取样

产品的检验项目及取样应符合表 8 的规定。

表 8 检验项目及取样

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	每批任取 1 份	3.3	4.1
外形尺寸及其允许偏差	逐张	3.4	4.2
力学性能	室温拉伸	每批任取 2 张,每张各取 1 个横向试样	4.3
	室温冲击	每批任取 2 张,每张各取 1 组(3 个)纵向试样,试样缺口轴线垂直于轧制面	4.4
	高温拉伸	每批任取 2 张,每张各取 1 个横向试样	4.5
	高温持久	每批任取 2 张,每张各取 1 个横向试样	4.6
弯曲性能	每批任取 2 张,每张各取 1 个横向试样	3.6	4.7
低倍组织	每批任取 2 张,每张各取 1 个横向试样	3.7	4.8
显微组织	每批任取 2 张,每张各取 1 个横向试样	3.8	4.9
表面污染	每批任取 2 张,每张各取 1 个试样	3.9	4.10
超声检测	逐张	3.10	4.11
β 转变温度	每批任取 1 份试样	3.11	4.12
表面质量	逐张	3.12	4.13
^a 氢含量在成品上取样分析,其他成分供方以铸锭的分析结果报出,需方复验均在成品上进行。			

5.4 检验结果的判定

5.4.1 化学成分检验不合格时,判该批产品不合格。

5.4.2 力学性能、弯曲性能、低倍组织、显微组织和表面污染各项试验中,如果有一个试样的检验结果不合格,则从该批产品上取双倍试样进行该不合格项目的重复检验。若重复检验仍有一个试样不合格,则该批产品不合格。但允许供方逐张对不合格项目进行检验,合格者重新组批。

5.4.3 外形尺寸及其允许偏差、超声检测和表面质量不合格时,判单张不合格。

6 标志、包装、运输、贮存及质量证明书

6.1 产品标志

在检验合格的产品上应有如下标志(或贴标签):

- a) 牌号;
- b) 规格;
- c) 状态;
- d) 批号;
- e) 本标准编号。

6.2 包装、标志、运输和贮存

产品的包装、标志、运输和贮存应符合 GB/T 8180 的规定。

6.3 质量证明书

每批产品应附有质量证明书,注明:

- a) 供方名称;
- b) 产品名称;
- c) 产品牌号、规格和状态;
- d) 熔炼炉号、批号、批重和张数;
- e) 各项分析检验结果及质量检验部门印记;
- f) 本标准编号;
- g) 包装日期。

7 订货单(或合同)内容

按本标准订购产品的订货单(或合同)应包括下列内容:

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