



中华人民共和国国家军用标准

FL 9570

GJB 2220—94

航空发动机用钛合金饼、环坯规范

Specification for titanium alloy pancake
and ring stocks for aeroengines

1994—12—13 发布

1995—07—01 实施

国防科学技术工业委员会 批准

中华人民共和国国家军用标准

航空发动机用钛合金饼、环坯规范

GJB 2220-94

Specification for titanium alloy pancake
and ring stocks for aeroengines

1 范围

1.1 主题内容

本规范规定了钛合金饼、环坯的要求、质量保证规定和交货准备等。

1.2 适用范围

本规范适用于热加工的钛合金饼、环坯。

1.3 分类

产品的分类按表1的规定。

表 1

牌号	产品形式	供应状态	外径	内径	高度	坯重, 不大于
			mm			kg
TC4	饼、环	R	340~600	0,110~260	38~110	60
TC11	饼、环	R	340~600	0,110~260	38~110	60
TA7	环	R	340~620	250~400	60~270	80

2 引用文件

GB 228 金属拉伸试验方法

GB 229 金属夏比(U形缺口)冲击试验方法

GB 231 金属布氏硬度试验方法

GB 4338 金属高温拉伸试验方法

GB 4698 钛及钛合金化学分析方法

GB 5168 两相钛合金高、低倍组织检验方法

GB 6395 金属高温拉伸持久试验方法

GB 6397 金属拉伸试验试样

GB 8180 钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存

GB/T 3620.2 钛及钛合金加工产品化学分析允许偏差

3 要求

3.1 材料

3.1.1 用于制造饼、环坯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压力应不大于 5Pa。

3.1.2 自耗电极不准使用钨极氩弧焊焊接。

3.2 化学成分

3.2.1 饼、环坯的化学成分应符合表 2 的规定。

表 2

牌号	主 要 成 分, %							杂 质 含 量 %, 不 大 于							
	Ti	Al	V	Mo	Zr	Sn	Si	Fe	Si	C	N	H	O	其他元素	
														单 一	总 和
TC4	基	5.5 ~6.8	3.5 ~4.5	—	—	—	—	0.30	0.15	0.10	0.05	0.010	0.20	0.1	0.3
TC11	基	5.8 ~7.0	—	2.8 ~3.8	0.8 ~2.0	—	0.20 ~0.35	0.25	—	0.10	0.05	0.010	0.15	0.1	0.3
TA7	基	4.0 ~6.0	—	—	—	2.0 ~3.0	—	0.30	0.15	0.10	0.05	0.012	0.15	0.1	0.3

注:在正常情况下,其他元素不做检验,但应保证;当需方要求并在合同中注明时可予以检验。检测元素包括:铜、铬、锡、锰、钼、钴、钨、钒。

3.2.2 TC4 合金产品复验分析时的化学成分允许偏差应符合 GB/T3620.2 的规定。

3.3 力学性能

3.3.1 从饼、环坯上切取截面厚度不小于 15mm 的试样坯,并按表 3 规定的制度进行热处理后测试力学性能。

表 3

牌号	试样坯热处理制度
TC4	700~800℃保温 1~2h(保温时间随退火温度的降低而相应增长)空冷
TC11	950℃(允许在 β 转变温度以下 30~50℃范围内调整)保温 1h 空冷+530℃保温 6h 空冷
TA7	750~850℃保温 1h 空冷

注:选定温度下的允许偏差为 $\pm 10^\circ\text{C}$ 。

3.3.2 室温力学性能应符合表 4 的规定。

表 4

牌号	室 温 力 学 性 能, 不 小 于					
	抗拉强度	规定残余伸长应力	伸长率	断面收缩率	冲击功	布氏硬度, d
	σ_b MPa	$\sigma_{r0.2}$ MPa	δ_5 %	ψ %	σ_k J	(HB10/29.42kN) mm
TC4	895	825	10	25	—	3.35
TC11	1060~1230	910	8	23	23.5	3.2~3.7
TA7	785	—	10	25	23.5	3.4~3.9

3.3.3 高温力学性能应符合表 5 的规定。

表 5

牌号	试验 温度 C	高温力学性能, 不小于				
		抗拉强度	伸长率	断面收缩率	持久强度, MPa	
		σ_b MPa	δ_5 %	ψ %	σ_{100h}	σ_{35h}
TC4	400	615	12	40	570	—
TC11	500	715	12	40	—	640
TA7	350	460	—	—	440	—

注: TC11 合金的持久强度满足不了本表要求时, 可用 500 C 的 100h 持久强度 ($\sigma_{100h} \geq 590 \text{ MPa}$) 进行检验, 合格后仍可交货。

3.3.4 TC11 合金饼、环坯的热稳定性应符合表 6 的规定。

表 6

牌号	热 稳 定 性					
	热暴露条件			室温拉伸, 不小于		
	温度 C	时间 h	冷却 方式	抗拉强度 σ_b , MPa	伸长率 δ_5 , %	断面收缩率 ψ , %
TC11	500	100	空冷	1060	8	20

注: 最终机械加工成拉伸试样后进行热暴露, 然后进行室温拉伸。

3.4 β 转变温度

应按熔炼炉号提供 β 转变温度的实测数据。

3.5 超声检验

3.5.1 TC11 和 TA7 合金饼、环坯超声纵波检验应符合表 7 的规定。

表 7

牌号	检验部位	单个反射信号 (平底孔直径) mm	多个反射信号			长条形 和密集 型信号	杂波反射 信号不 大于	非几何因 素引起的 底波损失
			平底孔直径 mm	总数 个	间距 mm			
TC11	轮缘	≤ 0.6	—	—	—	不允许	$\Phi 0.8\text{mm}$ —9dB	$\leq 50\%$ 位置不 前移
	其余	≤ 0.8	0.6~0.8	≤ 6	≥ 25		$\Phi 0.8\text{mm}$ —9dB	
TA7	全部	≤ 1.0	0.8~1.0	≤ 15	≥ 25		$\Phi 1.2\text{mm}$ —9dB	

注:轮缘是指 2/3 半径以外的位置。

3.5.2 TC11 合金饼、环坯超声横波检验的反射信号应不大于对比试块(见附录 A 图 A2)平底孔的反射波高。

3.5.3 TC4 合金饼、环坯超声检验的验收要求由供需双方协商确定。

3.6 尺寸和外形

3.6.1 饼、环坯均经机械加工后供应,尺寸允许偏差应符合表 8 的规定。

表 8

允 许 偏 差, mm		
外 径	内 径	高 度
+3	+1	+3
-1	-3	-1

3.6.2 饼、环坯的倒角半径为 5~10mm。

3.7 低倍组织

热加工状态或按表 3 规定的制度热处理后的饼、环坯纵剖面(过圆心)的低倍组织(1×)应符合 3.7.1~3.7.2 的要求。

3.7.1 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。

3.7.2 不允许有肉眼可见的清晰晶粒。TC4、TC11 合金应符合图 1 的 1~8 级,TA7 合金应符合图 2 的 1~9 级。

3.8 显微组织

按表 3 规定的制度热处理后的饼、环坯纵剖面的显微组织应符合 3.8.1 和 3.8.2 的要求。

3.8.1 TC4 和 TC11 合金的显微组织(500×)应符合图 3 的 1~10 级。

3.8.2 TA7 合金的显微组织(100×)应符合图 4 的 1~12 级。

3.9 表面状况

饼、环坯表面粗糙度的 Ra 值应不大于 3.2 μm (以满足超声检验要求为准)。

3.10 外观质量

饼、环坯表面不允许有裂纹、折叠及其他缺陷。允许用打磨方法清理表面缺陷,但清理深度不应超过 8mm,打磨深宽之比在两端面不应大于 1:6,在侧面不应大于 1:10,且不允许在两对称面同时出现清理凹坑。侧面打磨应顺轴向进行。

3.11 产品标志

3.11.1 在已检验合格的每个饼、环坯的一个端面上应有如下标志:

- a. 合金牌号;
- b. 熔炼炉号;
- c. 锭节号。

3.11.2 饼、环坯实行按锭节号管理,由铸锭上部至底部按顺序编号。

3.12 其他要求

3.12.1 供方有责任保存产品质量跟踪所必需的重要文件,一般保存五年,需方有特殊要求时应在合同中注明。

3.12.2 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商定。

3.12.3 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才能实施。

3.12.4 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 章的所有要求。若合同中包括本规范未规定的检验要求,承制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(热处理制度由供方提供),如复验结果与本规范的规定不符时,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

饼、环坯应成批提交验收,每批应由同一牌号、熔炼炉号、状态、规格、制造方法、生产周期的产品组成。

4.2.2 检验项目和取样

4.2.2.1 供方按原铸锭的分析结果报出化学成分(氢含量在饼、环坯供应状态测定),需方复

验均在饼、环坯上取样。

4.2.2.2 每批产品解剖一个饼或环坯,供方在半个饼或环坯上检验力学性能和金相组织,另外半个饼或环坯应作为该批产品的一部分一起发给需方供复验用。

4.2.2.3 当用同一铸锭生产几种规格相近的饼、环坯时,征得需方同意,可以用规格最大的饼、环坯的检验结果代表其他规格的饼、环坯。

4.2.2.4 质量一致性检验的项目、取样位置及数量应按表 9 的规定。

表 9

检验项目	取样位置	取样数量	要求的章条号	检查或试验方法的章条号
化学成分	按 4.2.2.1 ¹⁾	1 份	3.2	4.3.1
室温拉伸性能	弦向	2 个	3.3.2	4.3.2
室温冲击性能	弦向	2 个	3.3.2	4.3.3
布氏硬度	任意	2 个	3.3.2	4.3.4
高温拉伸性能	弦向	2 个	3.3.3	4.3.5
高温持久性能	弦向	2 个	3.3.3	4.3.6
热稳定性	弦向	2 个	3.3.4	4.3.2
β 转变温度	任意	每炉号 1 份	3.4	4.3.7
超声检验	—	逐个检验	3.5	4.3.8
尺寸和外形	—	逐个检验	3.6	4.3.9
低倍组织	过圆心的纵剖面	1 个 (环坯含左、右边)	3.7	4.3.10
显微组织	任意	2 个	3.8	4.3.10
表面状况	—	逐个检验	3.9	4.3.11
外观质量	—	逐个检验	3.10	4.3.12

注:1)测氢试样取自离表面 4~6mm 处。

4.2.3 检验结果的判定

4.2.3.1 化学成分不合格时,整批不合格。产品的超声检验、尺寸、外观质量不合格时,单件不合格。

4.2.3.2 力学性能检验不合格时,则在原受检件上对不合格项目重取双倍试样进行重复试验,结果仍有一个试样不合格时,则整批不合格。

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。

4.2.3.3 低倍组织上,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。

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;若化学成分不正常,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,可剔除含偏析的饼、环坯重新组批后验收,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饼、环坯后重新组批交货。

4.3 检验方法

- 4.3.1 化学成分仲裁分析方法按 GB 4698 进行。
- 4.3.2 室温拉伸试验按 GB 228 进行,采用 GB 6397 中 R7 试样。
- 4.3.3 室温冲击试验按 GB 229 进行,采用 10mm×10mm 梅氏试样。
- 4.3.4 室温硬度试验按 GB 231 进行。
- 4.3.5 高温拉伸试验按 GB 4338 进行,采用工作直径为 5mm 的试样。
- 4.3.6 高温持久试验按 GB 6395 进行,采用工作直径为 5mm 的试样。
- 4.3.7 β 转变温度用淬火金相法或其他合适的方法测定。
- 4.3.8 超声波检验按本规范附录 A(补充件)规定的方法进行。
- 4.3.9 尺寸检验用相应精度的量具进行。
- 4.3.10 低倍组织和显微组织的检验按 GB 5168 进行。
- 4.3.11 表面粗糙度检验用标块对比法进行。
- 4.3.12 外观质量用目视检查。

5 交货准备

5.1 包装、运输和贮存

饼、环坯的包装、运输和贮存按 GB 8180 的规定进行。

5.2 质量证明书

每批饼或环坯应附有质量证明书,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、状态;
- e. 熔炼炉号、批号和锭节号;
- 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. 包装日期。

6 说明事项

6.1 预定用途

本规范规定的 TC4、TC11 合金饼、环坯预定用于航空部门锻制发动机压气机盘, TA7 合金环坯预定用于航空部门锻制或轧制发动机机匣或其他非转动结构件。航天部门也可参照使用。

6.2 订货文件内容

合同或定单中应写明:

- a. 本规范的名称和编号;
- b. 产品名称、牌号、状态、规格和数量;
- c. 化学成分中其他杂质元素的测定;(3.2.1)
- d. TC4 合金饼、环坯超声检验验收要求;(3.5.3)
- e. 产品质量跟踪重要文件保存期的特殊要求;(3.12.1)
- f. 其他需要说明的事项。

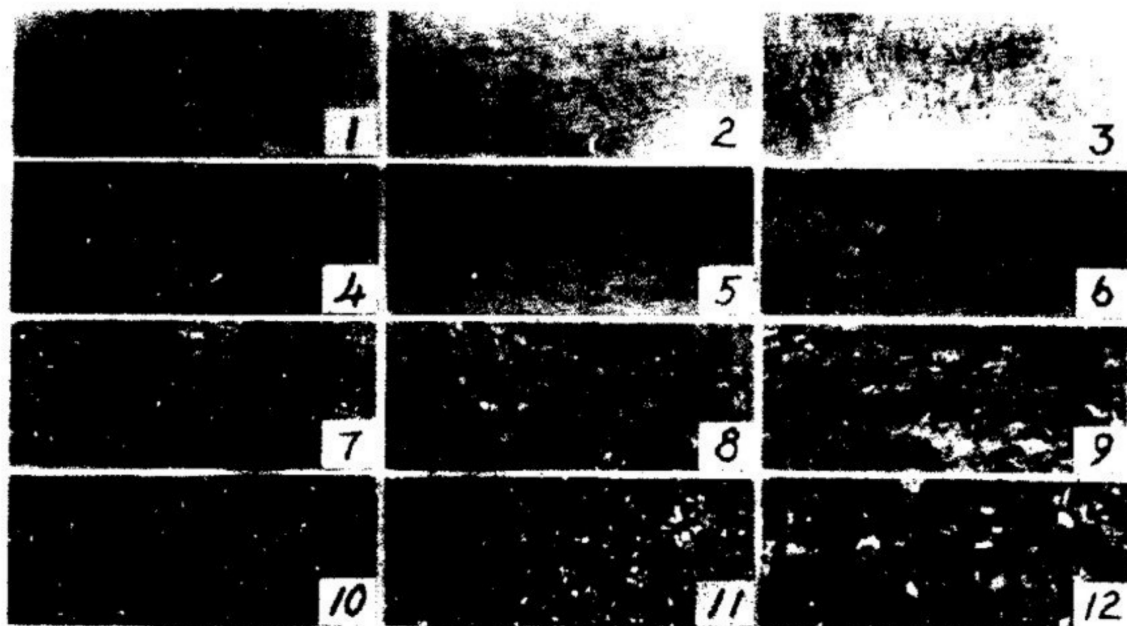


图1 TC4、TC11 钛合金的低倍组织分类评级图(1×)

- I 类(1~3级)——等轴模糊晶;
 II 类(4~6级)——拉长模糊晶;
 III 类(7~9级)——半清晰晶;
 IV 类(10~12级)——等轴清晰晶。

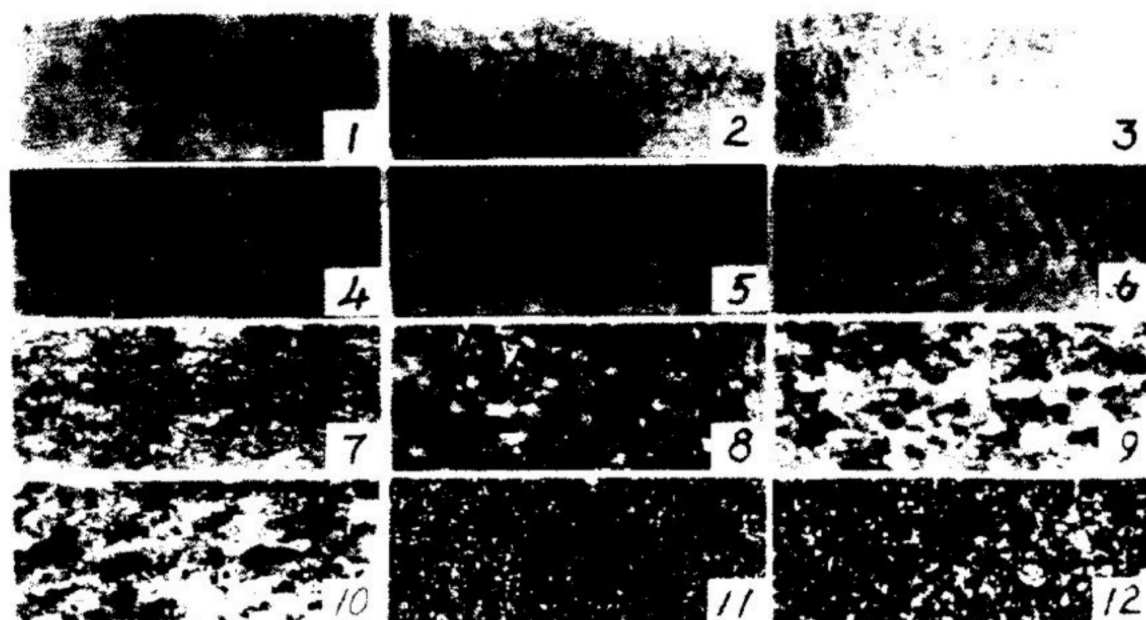


图2 TA7 钛合金的低倍组织分类评级图(1×)

- I类(1~3级)——等轴模糊晶；
 II类(4~6级)——拉长模糊晶；
 III类(7~10级)——半清晰晶；
 IV类(11~12级)——等轴清晰晶。

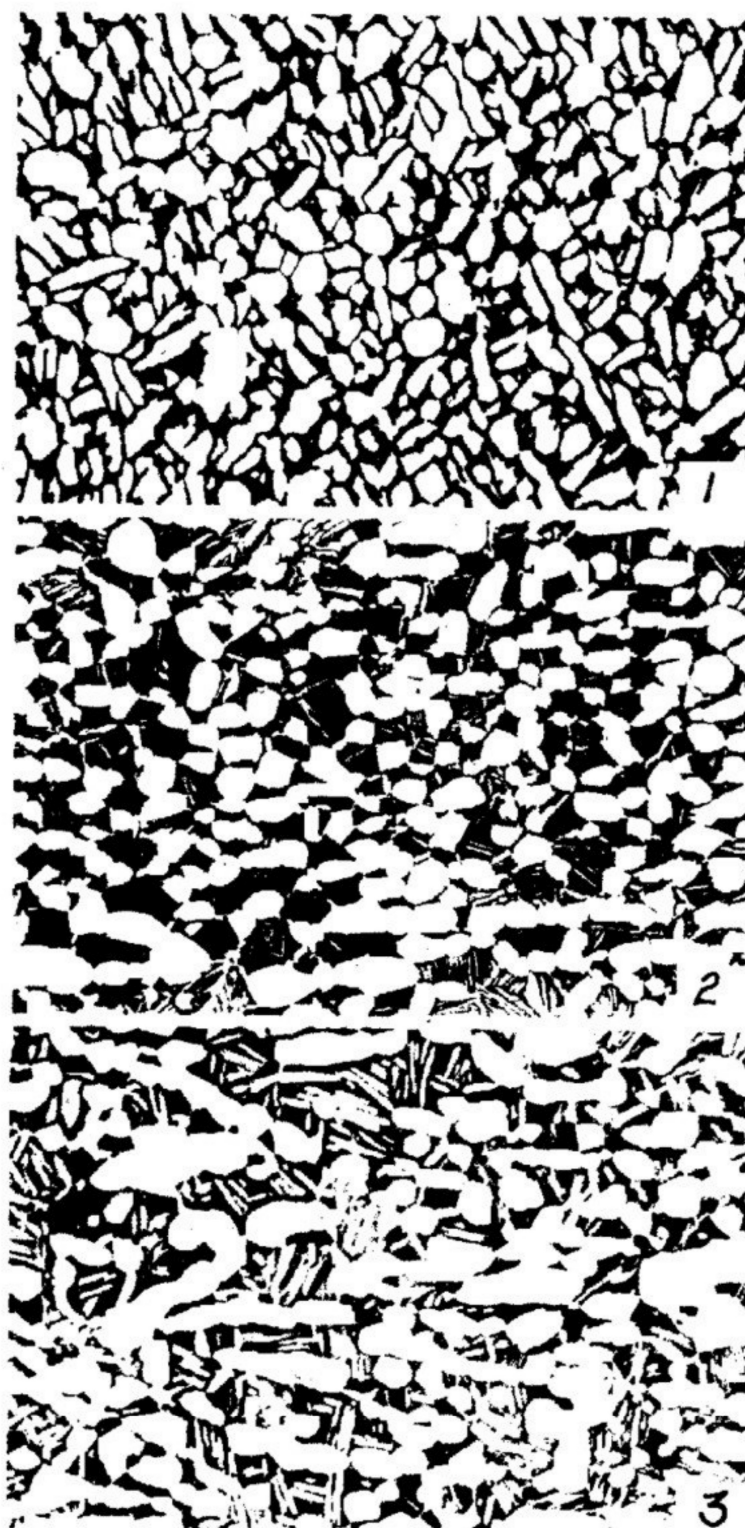


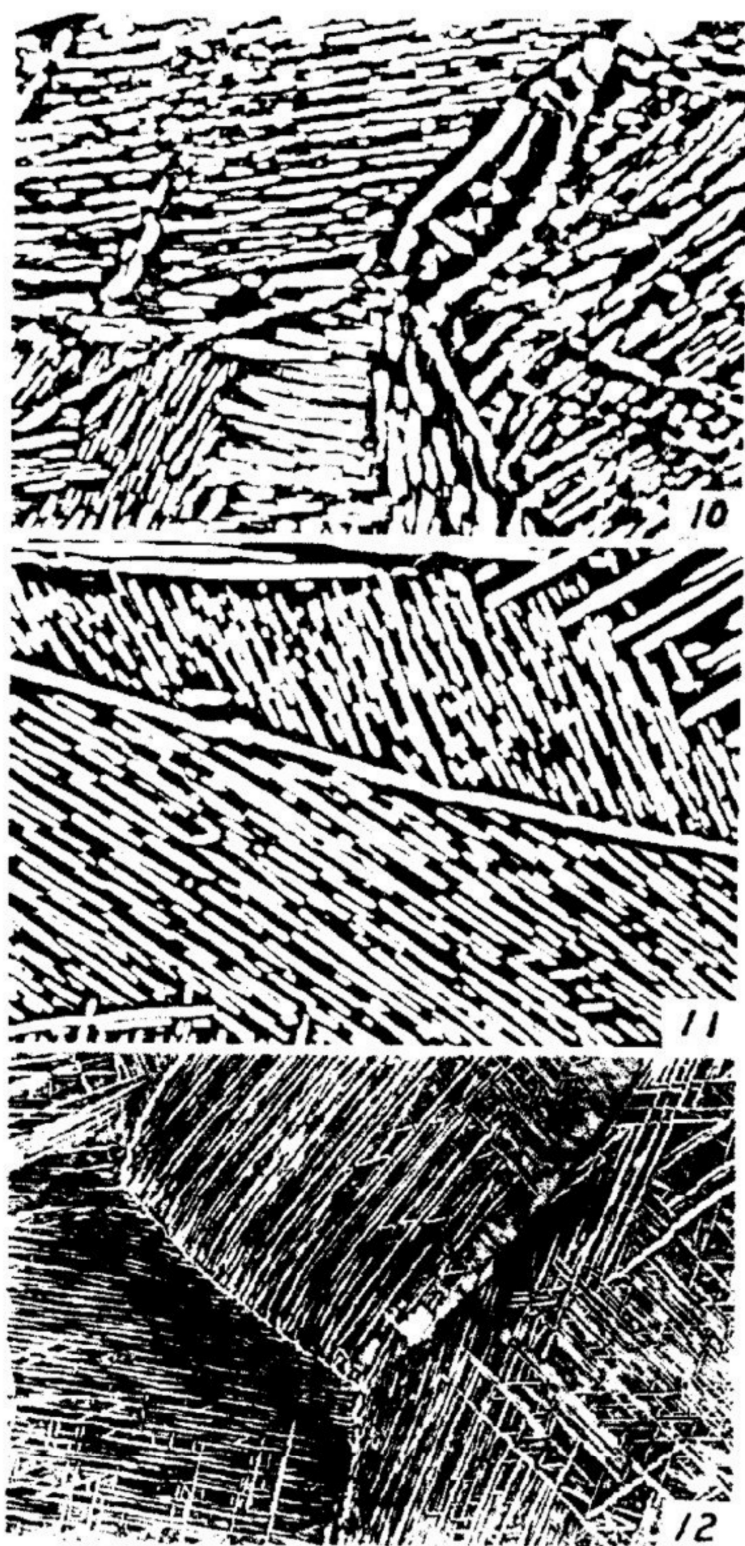
图3 TC4、TC11 钛合金的显微组织分类评级图(500×)



续图 3



续图 3



续图 3



续图 3

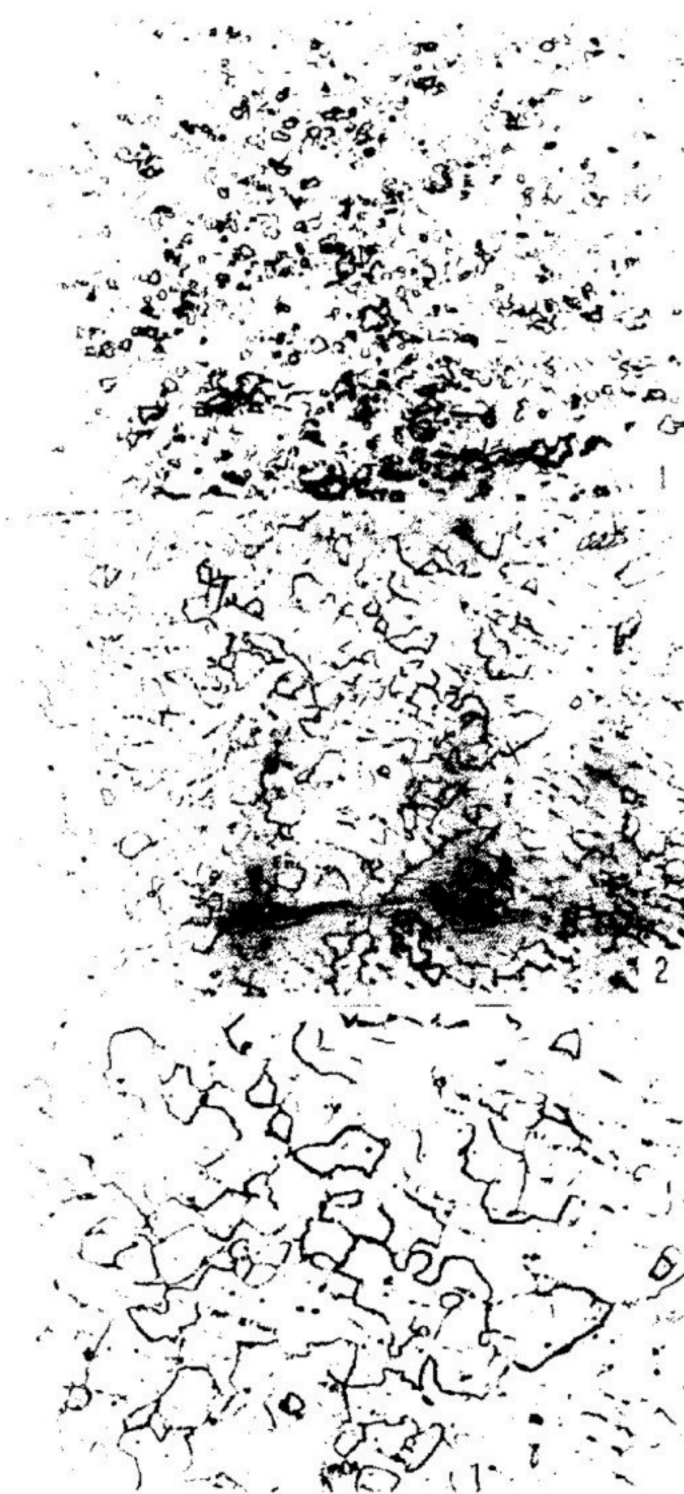


图4 TA7 钛合金的显微组织分类评级图(100×)



续图 4



续图 4



续图 4



续图 4

附 录 A
航空用钛合金饼、环坯超声检验方法
(补 充 件)

A1 主题内容与适用范围

本附录规定了航空用钛合金饼、环坯超声检验的一般要求、检验程序等要求。

本附录适用于制造航空发动机压气机盘用的 TC4、TC11 钛合金饼、环坯和制造航空发动机机匣或其他非转动结构件的 TA7 钛合金饼、环坯的超声检验。

A2 一般要求**A2.1 人员**

操作人员应达到部级或与此相当的学会 I 级(初级)或 I 级以上人员资格水平。签发及解释检验报告人员应达到部级或与此相当的学会 II 级或 II 级以上人员资格水平。

A2.2 被检验饼、环坯的表面要求

被检验饼、环坯的表面粗糙度 R_a 值应不大于 $3.2\mu\text{m}$, 表面机械加工时, 应选用圆头刀具切削或磨削。

A2.3 探伤仪和探头

超声探伤仪、探头的性能应符合 HB 5358.1《航空制件超声波检验质量控制标准》或 ZBY230《A 型脉冲反射式超声探伤仪通用技术条件》的规定。检验所用的纵波探头频率为 $4\sim 5\text{MHz}$, 晶片直径为 $\Phi 10\sim 14\text{mm}$, 横波探头频率为 $2\sim 2.5\text{MHz}$, 晶片直径为 $\Phi 14\text{mm}$ 或 $14\text{mm}\times 12\text{mm}$ 长方形晶片。

A2.4 耦合剂

采用接触法检验时, 可采用机油、甘油、变压器油等。纵波检验若采用水浸法检验时, 采用清洁的自来水作耦合剂, 可添加湿润剂, 水中不应有可能干扰超声检验的气泡、悬浮杂物等。

A2.5 对比试块

按照本规范进行检验所用的对比试块应当采用声性能与被检验材料相同或相近的材料制造。其形状尺寸, 纵波对比试块如图 A1 所示, 横波对比试块如图 A2 所示。

A3 检验程序**A3.1 纵波检验**

A3.1.1 将纵波平探头耦合于对比试块平底孔上方。

A3.1.2 调整仪器灵敏度, 使来自各对比试块平底孔的反射波高均等于或大于荧光屏饱和值的 80%, 在此调整情况下, 仪器的动态范围不得小于 20dB。

A3.1.3 在调整好仪器灵敏度之后, 按本规范要求对饼、环坯进行二个端面的检验, 扫查的方式可以往返直线, 也可采用螺旋方式检验。扫查的线速度不得大于 $4\text{m}/\text{min}$, 扫查间距不得大于声束有效直径的一半(或不得大于晶片直径的三分之一)。

纵波检验不应采用聚焦探头。

A3.2 横波检验

A3.2.1 用图 A3 所示的对比试块检验探头的声束入射点及钛合金中的折射角。如果折射角不是 45° , 应修整探头(有机玻璃的斜楔)。

A3.2.2 将横波探头耦合于横波对比试块上的平底孔上方。

A3.2.3 调整仪器灵敏度, 使来自横波对比试块上的平底孔反射波高均等于或大于荧光屏饱和值的 80%, 在此调整情况下, 仪器的动态范围不得小于 20dB。

A3.2.4 在调整好仪器灵敏度之后, 对饼、环坯的二个端面进行检验, 扫查速度及间距见 A3.1.3 条。

A3.3 周向检查

对壁厚较薄、轴向尺寸较大的环坯需作周向检查。

A3.4 超声检验表面的补偿

提供的饼、环坯的表面质量对超声检验不利时, 要进行灵敏度损失的补偿。

A3.5 校准

每次检验前或检验过程中, 每隔 1h 应用对比试块校准仪器的工作状态。若检验过程中仪器的工作状态发生变化, 应及时调整到正常状态, 若变化大于或等于 3dB 时, 应对上次校准以来发现的可疑信号重新检验。

A4 其他

A4.1 多个信号需作详细记录, 记录内容为反射信号的当量大小、埋藏深度及部位。

A4.2 如果确认超声检验所发现的某些不允许的缺陷信号可在后续工序去除的, 允许供需双方协商解决。

A4.3 当发生本附录没有包括的情况时, 供需双方协商处理。

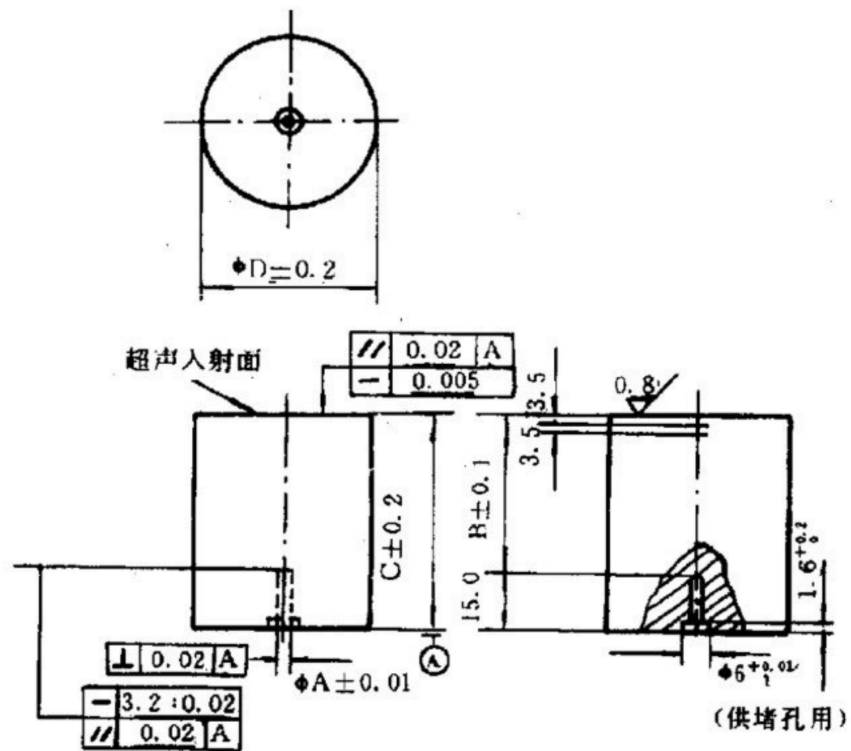


图 A1 纵波对比试块

平底孔直径 A(mm)	平底孔埋藏深度 B(mm)	柱 高 C(mm)
±0.01	±0.1	±0.1
0.8	(1)2.5 (8)30 (15)80 (2)5.0 (9)35 (16)90 (3)7.5 (10)40 (17)100 (4)10 (11)45 (18)110 (5)15 (12)50 (19)120 (6)20 (13)60 (7)25 (14)70	(1)17.5 (8)45 (15)95 (2)20 (9)50 (16)105 (3)225 (10)55 (17)115 (4)25 (11)60 (18)125 (5)30 (12)65 (19)135 (6)35 (13)75 (7)40 (14)85

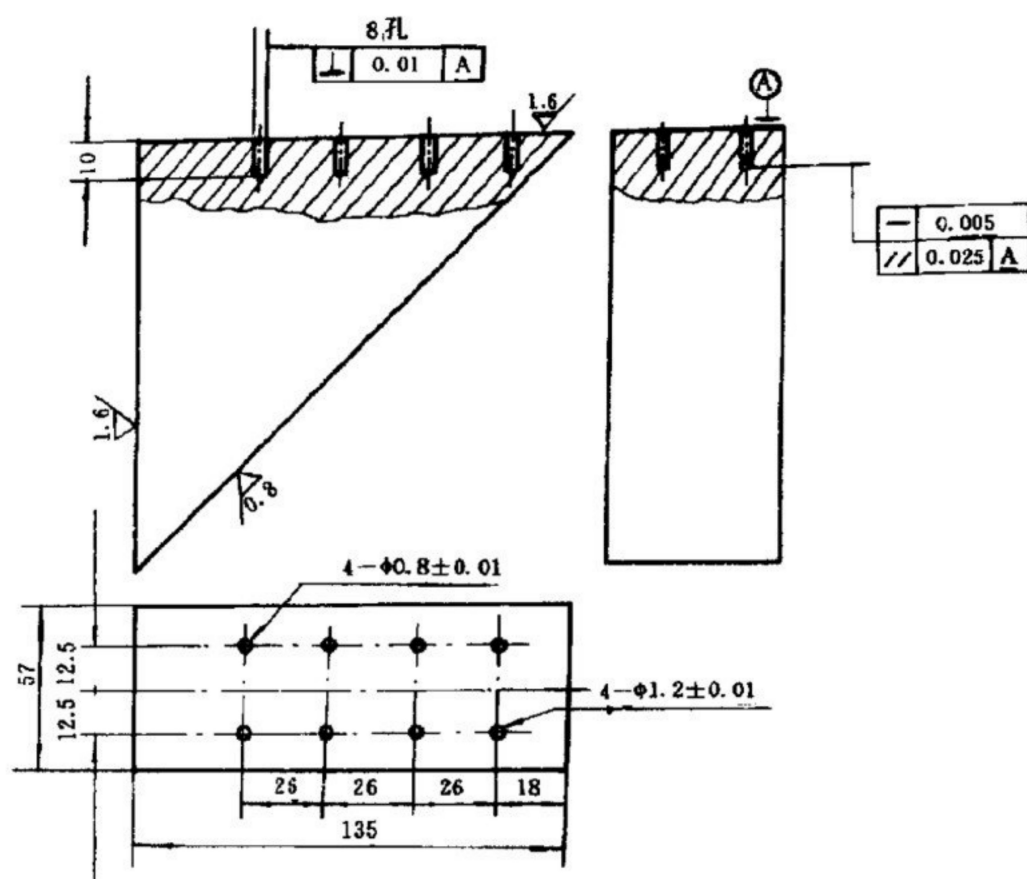


图 A2 横波对比试块

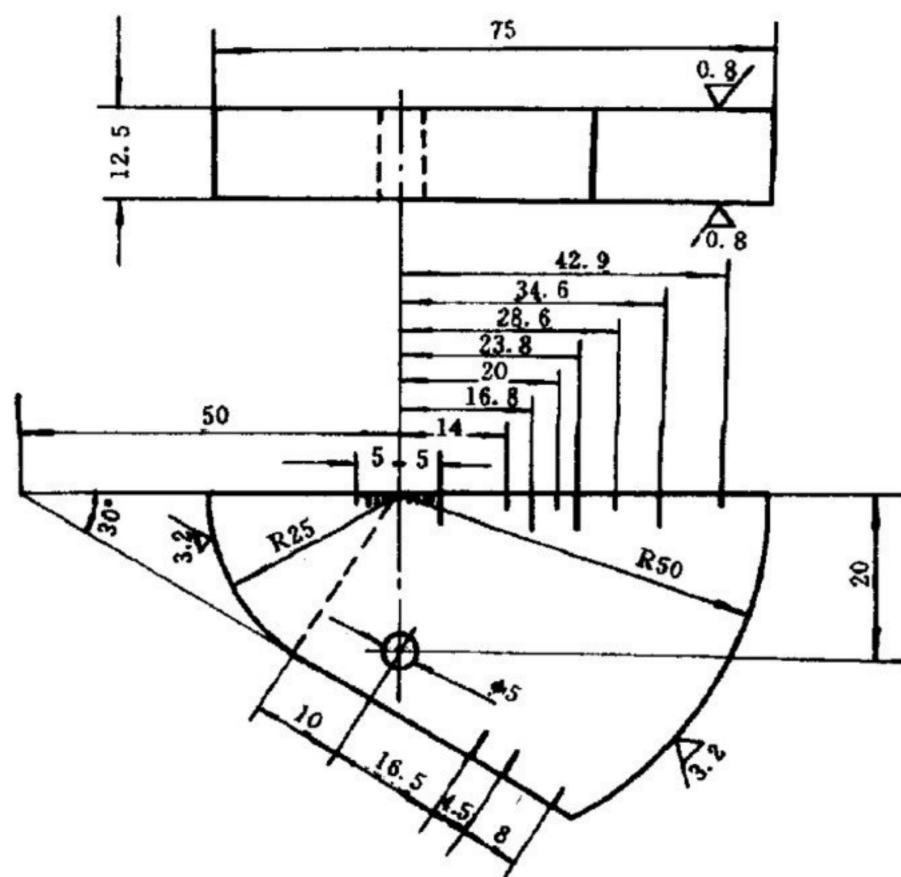


图 A3 W11 对比试块

附加说明:

本规范由中国有色金属工业总公司和中国航空工业总公司提出。

本规范由中国有色金属工业总公司标准计量研究所归口。

本规范由北京航空材料研究所、宝鸡有色金属加工厂、上海第五钢铁厂、安大锻造厂、黎阳机械公司本部和陕西动力机械研究所起草。

本规范主要起草人:曹春晓、孟庆林、许惠珍、钱鑫源、朱益藩、刘洪义、张淑兰、杨培钦、杨传荣。

计划项目代号:1YS12。