

ICS 25.160.20

CCS J 33

团 体 标 准

T/CWAN 0135—2025

硼化钛增强高温钛合金基复合材料

Titanium boride reinforced high temperature titanium matrix composites

2025-01-20 发布

2025-02-01 实施

中国焊接协会 发布

目 次

前 言	II
1. 范围	1
2. 规范性引用文件	1
3. 术语和定义	1
4. 分类和标记	2
5. 技术要求	2
6. 试验方法	3
7. 检验规则	3
8. 包装运输储存和标志	5

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的附录 A 为资料性附录

本标准由中国焊接协会提出并归口

本文件起草单位：哈尔滨工业大学、哈工大苏州研究院、昆山一兴泰鹏新材料科技有限公司、中国机械总院集团郑州机械研究所有限公司。

本文件主要起草人：黄陆军、耿林、孙徕博、陈润、孙枫泊、安琦、王帅、张芮、包阳、崔喜平、韩亚坤、王存玉、鲁伟航、张昕、陈昕、秦建。

硼化钛增强高温钛合金基复合材料

1. 范围

本文件规定了硼化钛增强高温钛合金基复合材料的分类和标记、技术要求、试验方法、检验规则以及包装、运输、储存和标志。

本文件适用于 600~800°C 耐热结构件制造用硼化钛增强高温钛合金基复合材料。

2. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。

- GB/T 228.1 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 1804 一般公差 未注公差的线性尺寸和角度尺寸的公差
- GB/T 3620.1 钛及钛合金牌号和化学成分
- GB/T 5168 钛及钛合金高低倍组织检验方法
- GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
- GB/T 8180 钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存
- GB/T 22315 金属材料 弹性模量和泊松比试验方法
- GB/T 32496 金属基复合材料增强体体积含量试验方法 图像分析法
- GB/T 34558 金属基复合材料术语
- GB/T 38915 航空航天用高温钛合金锻件
- GB/T 38916 航空航天用高温钛合金板材
- GB/T 38917 航空航天用高温钛合金棒材
- GJB 1580 变形金属超声检验方法

3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件

3.1

钛基复合材料 titanium matrix composites

在纯钛或钛合金基体中引入或（和）自生增强体的复合材料

3.2

硼化钛增强钛基复合材料 TiB reinforced titanium matrix composites

以硼化钛（TiB）作为增强体的钛基复合材料

3.3

硼化钛增强高温钛合金基复合材料 TiB reinforced high temperature titanium alloy matrix composites

以航空航天用高温钛合金作为基体的硼化钛增强钛基复合材料。

3.4

坯锭 ingot

通过熔铸法、粉末冶金法等方法制备的具有一定形状、尺寸和性能的硼化钛增强高温钛合金基复合材料毛坯。

3.5

内部冶金质量 internal metallurgical quality

一般不能用肉眼检查出来的坯锭内部状况和达到用户要求的程度，包括坯锭内部的孔洞、裂纹、夹

杂物等缺陷。检查坯锭的内部冶金质量须采用无损探伤、金相检查等方法。

4. 分类和标记

4.1. 分类

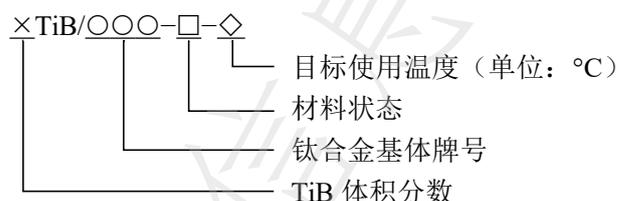
依据基体合金牌号和供应状态进行分类，分类方法及代号见表 1。

表 1 基体合金牌号与材料供应状态

基体合金牌号	材料状态
TA12、TA15、TC4、TC25G、Ti60、Ti65	铸态（C）、烧结态（S）、热等静压态（H）、热加工态（R）、退火态（M）

4.2. 标记

产品按照 TiB 体积分数、钛合金基体、材料状态、目标使用温度标记为×TiB/○○○-□-◇



示例：TiB 体积分数为 3.5%，基体钛合金牌号为 TA15，烧结态，目标使用温度为 600°C，标记为 3.5TiB/TA15-S-600；

TiB 体积分数为 5%，钛合金牌号为 TA12，热加工态，目标使用温度 650，标记为 5TiB/TA12-R-650；

TiB 体积分数为 5.3%，钛合金牌号为 TC4，热等静压态，目标使用温度 550，标记为 5.3TiB/TC4-H-550；

TiB 体积分数为 4%，钛合金牌号为 TC25G，铸态，目标使用温度 650，标记为 4TiB/TC25G-C-650；

TiB 体积分数为 6%，钛合金牌号为 Ti60，热加工态，目标使用温度 700，标记为 6TiB/Ti60-R-700；

TiB 体积分数为 4.5%，钛合金牌号为 Ti65，退火态，目标使用温度 700，标记为 4.5TiB/Ti65-M-700。

5. 技术要求

5.1. 化学成分

钛合金基体的化学成分和杂质的允许含量符合 GB/T 3620.1 的规定。

5.2. TiB 体积分数

与标记相同，误差不超过 8%。

5.3. 低倍组织

坯锭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。

5.4. 显微组织

坯锭显微组织中不应存在 TiB 偏聚，如通过化学反应生成 TiB，组织中不应存在未反应的硼源，如二硼化钛（TiB₂）或单质（B）。

5.5. 材料的性能

材料的室温及高温力学性能应满足表 2 与表 3 所示。

表 2 室温性能

密度 (ρ) g/cm ³	弹性模量 (E) GPa	屈服强度 ($R_{p0.2}$) MPa	抗拉强度 (R_m) MPa	断裂总延伸率 (A_t) %
≤4.6	≥115	≥950	≥1000	≥5

表 3 高温力学性能

标记	推荐使用温度 (T) °C	推荐使用温度下的抗拉强度 (R _m) MPa
×TiB/TA12-□-◇	650	≥550
×TiB/TA15-□-◇	600	≥520
×TiB/TC4-□-◇	550	≥500
×TiB/TC25g-□-◇	650	≥600
×TiB/Ti60-□-◇	700	≥500
×TiB/Ti65-□-◇	700	≥520

5.6. 外观质量

表面应整洁、不应有外来夹杂物，无肉眼可见的未复合区域、起皮、裂纹或腐蚀斑点。

饼材和环材应符合 GB/T 38915 的规定，板材应符合 GB/T 38916 的规定，棒材应符合 GB/T 38917 的规定。其他异形构件由双方商议按照合同标准执行。

5.7. 超声检测

交付块体材料应进行超声检测，超声检测应按 G-J-B 1580 的方法进行，烧结态 (S)、热等静压态 (H)、热加工态 (R) 和退火态材料 (M) 验收级别不应低于 AA 级，铸态 (C) 验收级别不应低于 A 级。

6. 试验方法

6.1. 试样

试样经线切割切取、研磨后，表面粗糙度 (Ra) 的最大值为 6.3μm。试样尺寸公差应符合相关办法标准或 GB/T 1804 中精密等级的规定。

6.2. 化学成分

钛合金基体的化学成分的检验方法按照 GB/T 3620.1 的规定执行，当分析结果有争议时，应按 GB/T 3620.1 进行仲裁。

6.3. TiB 体积分数

按 GB/T 32496 规定的方法测定。

6.4. 低倍组织和显微组织

按 GB/T 5168 规定的方法测定。

6.5. 密度

按 GB/T 1423 规定的方法测定。

6.6. 室温弹性模量

按 GB/T 22315 规定的方法测定。

6.7. 室温拉伸性能

复合材料的室温拉伸屈服强度、抗拉强度和断后伸长率按 GB/T 228.1 规定的方法测定。

6.8. 高温拉伸强度

按 GB/T 228.2 规定的方法测定。

6.9. 外观质量

外观质量用目视及相应的精度量具进行检验。

6.10. 超声检验

按 GJB 1580 规定的方法检验。

6.11. 试验结果数值的修约

当测得的性能数值遇界限值时，允许按本文规定的有效位数进行修约，数值修约应符合 GB/T 8170 的规定。

7. 检验规则

7.1. 检查与验收

- 7.1.1. 产品应由供方进行检验，保证材料质量符合本标准的规定，并附检验报告。
- 7.1.2. 需方应对收到的产品按本标准及合同的规定进行复验。复验结果与本标准及合同的规定不符时，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，应在收到材料之日起一个月内提出，属于其他性能的异议，应在收到材料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。
- 7.1.3. 产品应成批提交验收。每批应由同一标记、炉号、规格、生产工艺、状态和统一生产周期的产品组成。

7.2. 检验项目

每批材料应进行化学成分、TiB 体积分数、低倍组织、显微组织、弹性模量、室温拉伸性能、高温拉伸强度、外观质量和超声检测的检验。材料取样应按照表 4 规定取样

表 4 硼化钛增强高温钛合金基复合材料检验项目及样品数量

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	每批 1 份	5.1	6.2
TiB 体积分数	每批 1 份	5.2	6.3
低倍组织	每批 2 份	5.3	6.4
显微组织	每批 2 份	5.4	6.4
密度	每批 1 份	5.5	6.5
弹性模量	每批 3 份	5.5	6.6
室温拉伸性能	每批 3 份	5.5	6.7
高温拉伸强度	每批 3 份	5.5	6.8
外观质量	逐件	5.6	6.9
超声检测	逐件	5.7	6.10

7.3. 判定规则

- 7.3.1. 化学成分分析和 TiB 体积分数结果中有试样不合格时，应从该批材料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，判该批材料合格；若重复检验结果全部合格，除已判不合格的试样外，该批其它材料判合格。
- 7.3.2. 低倍组织和显微组织检验中，有裂纹、气孔、金属或非金属夹杂时，允许供方逐个检验，剔除缺陷，合格者交货。
- 7.3.3. 力学性能检验结果中有试样不合格时，应从该批材料（包括原受检材料）中另取双倍数量的试样对不合格项目进行重复试验。试验结果全部合格，判该批材料合格；若重复试验仍有结果不合格，判该批材料不合格。但允许供方重新加工后重新取样检验，重新加工仅限一次。
- 7.3.4. 外观质量、超声检测不合格时，判单个产品不合格。

7.4. 组批规则

同批原材料、在相同工艺条件下连续生产的硼化钛增强高温钛合金基复合材料为一批。

注：连续生产界定为生产过程中时间间断不超过 30 天，人员设备状态一致。

7.5. 检测报告

批次检验报告应包含以下内容：

- a) 标准编号及名称
- b) 产品批号与名称
- c) 尺寸与数量
- d) 生产单位
- e) 检验日期

f) 检验员与生产负责人

g) 检验项目，包括化学成分、TiB 体积分数、低倍组织、显微组织、密度、弹性模量、室温拉伸性能、高温拉伸强度、超声检测及检测标准。

8. 包装、运输、贮存和标志

8.1. 包装、运输、贮存

硼化钛增强高温钛合金基复合材料的包装、运输和贮存应符合 GB/T 8180 的规定

8.2. 标志

应在产品包装上标明以下印记：

- 本文件编号；
- 生产厂家的名称和地址；
- 产品名称和规格；
- 生产日期、产品批号；
- 检验人员姓名或代号及检验日期。

附录 A
(资料性附录)

报告模板

质量检验报告推荐模板，推荐按照表 A.1 的模板填写质量报告。

表 A.1 质量检验报告推荐模版

报告编号：

产品名称		产品批号		产品编号	
尺寸		数量		生产单位	
标准编号			标准名称		
性能	测试项目	密度/(g/cm ³)	弹性模量/GPa	高温拉伸测试温度/°C	高温拉伸强度/MPa
	标准值				
	实测值				
	测试项目	室温拉伸屈服强度/MPa		室温拉伸抗拉强度/MPa	室温拉伸断后伸长率/%
	标准值				
	实测值				
成分	标准			标准值	
	测量结果			TiB 体积分数 测量值	
外观质量：					
低倍组织与显微组织：					
生产责任人		检验人		审核人	
生产日期		检验日期		审核日期	