

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T 447. 1—2023
代替 YS/T 447. 1—2011

铝及铝合金晶粒细化用合金线材
第 1 部分：铝-钛-硼合金线材

Alloy wires used for grain refinement of aluminium and aluminium alloys—
Part 1: Al-Ti-B alloy wires

2023-12-20 发布

2024-07-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

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。

本文件是 YS/T 447《铝及铝合金晶粒细化用合金线材》的第1部分。YS/T 447 已经发布了以下部分：

- 第1部分：铝-钛-硼合金线材；
- 第2部分：铝-钛-碳合金线材；
- 第3部分：铝-钛合金线材。

本文件代替 YS/T 447.1—2011《铝及铝合金晶粒细化用合金线材 第1部分：铝-钛-硼合金线材》，与 YS/T 447.1—2011 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了产品分类(见第4章)，增加了 AlTi3B1A、AlTi5B1、AlTi5B0.2、AlTi1.7B1.4、AlTi6B1.2、AlTi10B1 共6个牌号(见4.1)，删除了 AlTi5B1B、AlTi5B1C、AlTi5B0.2B 共3个牌号(见2011年版的3.1)，增加了等级的要求(见4.1)，更改了典型用途(见4.1，2011年版的3.6.1)，更改了空心卷铝钛硼线的尺寸规格(见4.2.1)，增加了盘装卷铝钛硼线的尺寸规格(见4.2.2)，增加了直条铝钛硼线的尺寸规格(见4.2.3)；
- b) 更改了化学成分的要求(见5.1，2011年版的3.3)；
- c) 更改了尺寸偏差的要求(见5.2，2011年版的3.4)；
- d) 更改了力学性能的要求(见5.3，2011年版的3.5)；
- e) 更改了显微组织的要求(见5.4、附录A，2011年版的3.6)；
- f) 更改了晶粒细化能力的要求(见5.5，2011年版的3.8)；
- g) 删除了熔体氢含量的要求(见2011年版的3.9.1)；
- h) 更改了接头的要求(见5.6，2011年版的3.9.2)；
- i) 更改了外观质量的要求(见5.7，2011年版的3.7)；
- j) 增加了线盘的要求(见5.8)；
- k) 更改了力学性能的试验方法(见6.3，2011年版的4.3)；
- l) 更改了显微组织的光学(金相)显微镜法(原显微组织检验方法)，增加了显微组织的扫描电子显微镜法(见6.4、附录B，2011年版的4.4)；
- m) 更改了晶粒细化能力的试验方法，晶粒细化效果的试验方法中更改了空冷环模法(原晶粒细化能力试验方法)，增加了水冷锥模法，增加了晶粒细化效率的试验方法(见6.5、附录C、附录D，见2011年版的4.6、附录A)；
- n) 更改了外观质量的检验方法(见6.7，2011年版的4.5)；
- o) 增加了线盘的检验方法(见6.8)；
- p) 增加了产品合格鉴定的要求(见第7章、附录E)；
- q) 增加了过程控制的要求(见第8章、附录F)；
- r) 增加了计重的要求(见9.3)；
- s) 更改了出厂检验项目规定，增加了产品合格鉴定项目和定期检验项目(见9.4，2011年版的5.3)；
- t) 更改了取样的规定(见9.5，2011年版的5.4)；
- u) 更改了检验结果的判定规则(见9.6，2011年版的5.5)；

v) 更改了标志、包装、运输、贮存及质量证明书(见第 10 章,2011 年版的第 6 章)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)提出并归口。

本文件起草单位:立中四通轻合金集团股份有限公司、安美奇铝业(中国)有限公司、重庆升格新材料有限公司、艾姆客优辟铝业(上海)有限公司、山东南山铝业股份有限公司、东北轻合金有限责任公司、山东创新金属科技有限公司、国合通用测试评价认证股份公司、中铝材料应用研究院有限公司、国标(北京)检验认证有限公司、厦门厦顺铝箔有限公司、西南铝业(集团)有限责任公司、中铝瑞闽股份有限公司、河北新立中有色金属集团有限公司、重庆国创轻合金研究院有限公司、深圳市德铝联合贸易有限公司、南通昂申金属材料有限公司。

本文件主要起草人:赵卫涛、王文红、吴欣凤、宋诚、辛晶、黎善权、关浩、马月、臧稳、赵晓光、左玉婷、杨书瑜、刘淑凤、赵新彬、于富兴、张惠红、杜恒安、潘隼、臧永兴、孙海波、章贵祥、唐晓根、罗韶辉。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

——2002 年首次发布为 YS/T 447.1—2002,2011 年第一次修订;

——本次为第二次修订。

铝及铝合金晶粒细化用合金线材

第1部分：铝-钛-硼合金线材

1 范围

本文件规定了铝-钛-硼合金线材的产品分类、要求、试验方法、产品合格鉴定、过程控制、检验规则、标志、包装、运输、贮存及质量证明书和订货单(或合同)等内容。

本文件适用于铝及铝合金晶粒细化用铝-钛-硼合金线材(以下简称“铝钛硼线”)。

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。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 3199 铝及铝合金加工产品包装、标志、运输、贮存
- GB/T 3246.1—2024 变形铝及铝合金制品组织检验方法 第1部分:显微组织检验方法
- GB/T 3246.2—2012 变形铝及铝合金制品组织检验方法 第2部分:低倍组织检验方法
- GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- GB/T 7999 铝及铝合金光电直读发射光谱分析方法
- GB/T 8005.1 铝及铝合金术语 第1部分:产品及加工处理工艺
- GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
- GB/T 16865 变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样及方法
- GB/T 17432 变形铝及铝合金化学成分分析取样方法
- GB/T 20975(所有部分) 铝及铝合金化学分析方法
- GB/T 33911 4×××系铝合金圆铸锭
- GB/T 33960—2017 压力容器焊接用铝及铝合金线材
- GB/T 40123 高纯净细晶铝及铝合金圆铸锭
- YS/T 67 变形铝及铝合金圆铸锭
- YS/T 590 变形铝及铝合金扁铸锭
- YS/T 1619—2023 航空用铝合金铸锭
- JJF 1063 体视显微镜校准规范
- T/CNIA 0161—2023 变形铝及铝合金组织形貌检验方法 扫描电镜法

3 术语和定义

GB/T 8005.1界定的术语和定义适用于本文件。

4 产品分类

4.1 牌号、等级、类别及典型用途

铝钛硼线牌号、等级、类别及典型用途见表1,需方需要其他牌号时,由供需双方协商确定后在订货

单(或合同)中具体注明。

表 1 牌号、等级、类别及典型用途

牌号	等级 ^b	类别	典型用途
AlTi3B1A ^a	I、II	空心卷铝钛硼线、 盘装卷铝钛硼线、 直条铝钛硼线	符合 YS/T 1619—2023 的航空用铝合金铸锭、符合 GB/T 40123 的高纯净细晶铝及铝合金圆铸锭等内部组织要求高的锭坯,或双零箔、计算机印刷版基用带材、拉深罐等产品用内部组织要求高的锭坯
AlTi5B1A ^a			
AlTi5B0.2A ^a			
AlTi3B1	II		符合 YS/T 67、YS/T 590、GB/T 33911 等一般用途的铝及铝合金锭坯
AlTi5B1			
AlTi5B0.2			
AlTi1.7B1.4			
AlTi5B0.6			
AlTi6B1.2			
AlTi10B1			
^a 该牌号的铝钛硼线对化学成分和显微组织要求严格。 ^b I 级铝钛硼线的晶粒细化效率高于 II 级铝钛硼线。			

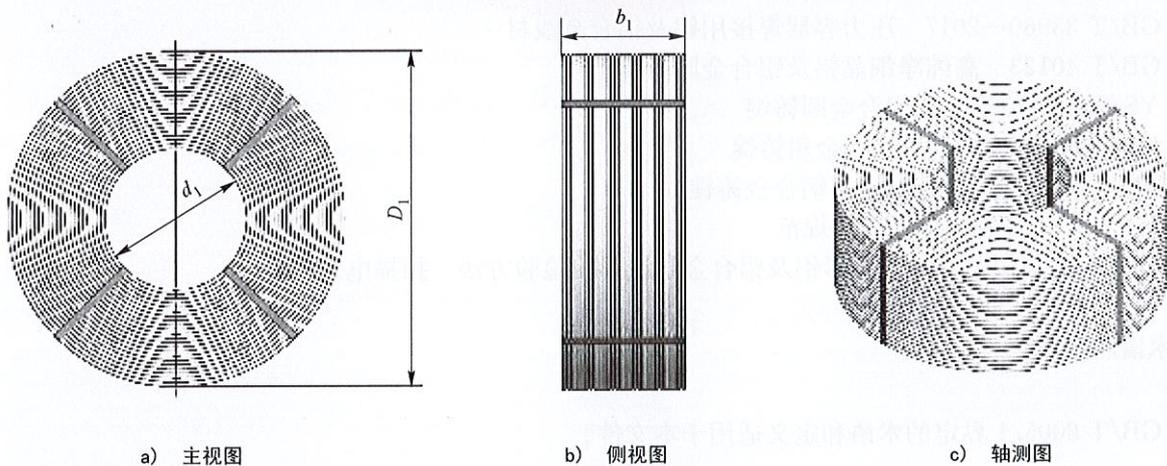
4.2 尺寸规格

4.2.1 空心卷铝钛硼线的典型尺寸规格见表 2,外形示意图见图 1。

表 2 空心卷铝钛硼线的典型尺寸规格

单位为毫米

尺寸规格			
铝钛硼线直径	空心卷外径	空心卷内径	空心卷幅宽
9.5	750	360	280
	860	370	



标引序号说明：
 D_1 ——空心卷外径；
 d_1 ——空心卷内径；
 b_1 ——空心卷幅宽。

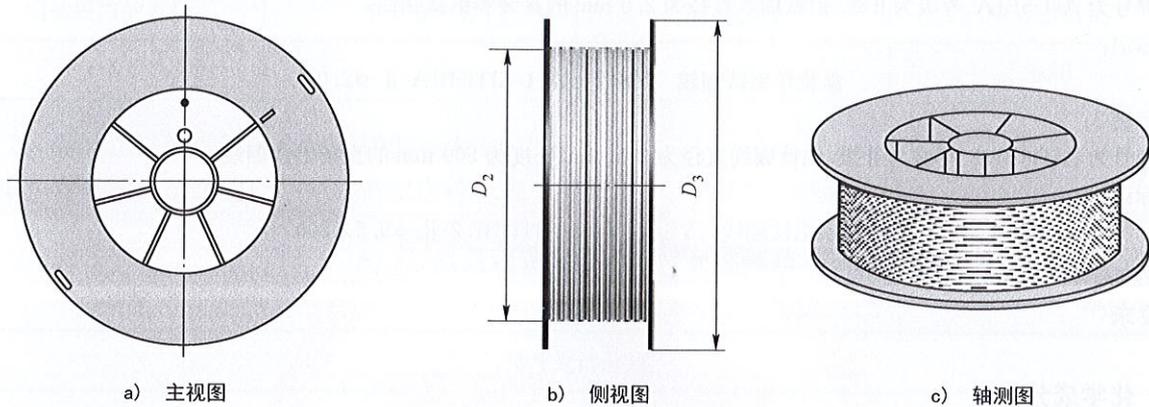
图 1 空心卷铝钛硼线外形示意图

4.2.2 盘装卷铝钛硼线的典型尺寸规格见表3,外形示意图见图2。

表3 盘装卷铝钛硼线的典型尺寸规格

单位为毫米

尺寸规格		
铝钛硼线直径	线盘直径	缠绕外径
2.0、3.0	300	≤280



标引序号说明:

D_2 ——线盘直径;

D_3 ——缠绕外径。

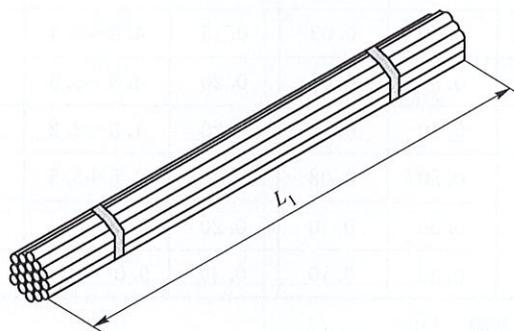
图2 盘装卷铝钛硼线外形示意图

4.2.3 直条铝钛硼线的典型尺寸规格见表4,外形示意图见图3。

表4 直条铝钛硼线的典型尺寸规格

单位为毫米

尺寸规格	
铝钛硼线直径	直条铝钛硼线长度
9.5	500~1000



标引序号说明:

L_1 ——长度。

图3 直条铝钛硼线外形示意图

4.2.4 需方需要其他尺寸规格时,由供需双方协商确定后在订货单(或合同)中具体注明。

4.3 标记示例

铝钛硼线标记按照产品类别、本文件编号、牌号、等级、尺寸规格的顺序表示。标记示例如下：

示例 1：

牌号为 AlTi3B1A、等级为 I 级、铝钛硼线直径为 9.5 mm 的空心卷铝钛硼线。

标记：

空心卷铝钛硼线 YS/T 447.1-AlTi3B1A-I- ϕ 9.5

示例 2：

牌号为 AlTi5B1A、等级为 II 级、铝钛硼线直径为 2.0 mm 的盘装卷铝钛硼线。

标记：

盘装卷铝钛硼线 YS/T 447.1-AlTi5B1A-II- ϕ 2.0

示例 3：

牌号为 AlTi6B1.2、等级为 II 级、铝钛硼线直径为 9.5 mm、长度为 500 mm 的直条铝钛硼线。

标记：

直条铝钛硼线 YS/T 447.1-AlTi6B1.2-II- ϕ 9.5 \times 500

5 要求

5.1 化学成分

铝钛硼线的化学成分应符合表 5 的规定，需方对化学成分有特殊要求时，由供需双方协商确定后在订货单(或合同)中具体注明。

表 5 化学成分

牌 号	等 级	化学成分 ^{a,b} (质量分数) %								
		B	Fe	K	Si	Ti	V	其他 ^c		Al
								单个	合计 ^d	
AlTi3B1A	I、II	0.8~1.2	0.20	0.05	0.15	2.8~3.4	0.05	0.03	0.10	余量
AlTi3B1	II	0.8~1.2	0.30	0.07	0.20	2.5~3.5	0.10	0.03	0.10	余量
AlTi5B1A	I、II	0.8~1.2	0.20	0.07	0.15	4.8~5.4	0.05	0.03	0.10	余量
AlTi5B1	II	0.8~1.2	0.30	0.10	0.20	4.5~5.5	0.10	0.03	0.10	余量
AlTi5B0.2A	I、II	0.15~0.25	0.20	0.03	0.15	4.8~5.4	0.05	0.03	0.10	余量
AlTi5B0.2	II	0.10~0.30	0.30	0.05	0.20	4.5~5.5	0.10	0.03	0.10	余量
AlTi1.7B1.4	II	1.1~1.7	0.30	0.10	0.20	1.3~2.2	0.05	0.03	0.10	余量
AlTi5B0.6	II	0.50~0.7	0.30	0.08	0.20	4.5~5.5	0.10	0.03	0.10	余量
AlTi6B1.2	II	1.0~1.4	0.30	0.10	0.20	5.5~6.5	0.20	0.03	0.10	余量
AlTi10B1	II	0.9~1.5	0.35	0.10	0.30	9.0~11.0	0.50	0.03	0.15	余量

^a 表中单个数值元素含量为最高限。
^b 食品行业用铝及铝合金材料使用的铝钛硼线应控制为 $w_{(Pb+Hg+Cd+Cr^{6+})} \leq 0.01\%$ 、 $w_{As} \leq 0.01\%$ ；电器、电子设备行业用铝及铝合金材料使用的铝钛硼线应控制为 $w_{Pb} \leq 0.1\%$ 、 $w_{Hg} \leq 0.1\%$ 、 $w_{Cd} \leq 0.01\%$ 、 $w_{Cr^{6+}} \leq 0.1\%$ ；包装用铝及铝合金材料使用的铝钛硼线应控制为 $w_{(Pb+Hg+Cd+Cr^{6+})} \leq 0.01\%$ 。
^c “其他”指表中未列出的金属元素。
^d “合计”指不小于 0.010% 的“其他”金属元素之和。

5.2 尺寸偏差

5.2.1 空心卷铝钛硼线的尺寸允许偏差应符合表 6 的规定。

表 6 空心卷铝钛硼线的尺寸允许偏差

单位为毫米

尺寸允许偏差			
铝钛硼线的直径	空心卷外径	空心卷内径	空心卷幅宽
±0.3	±20	±20	±20

5.2.2 盘装卷铝钛硼线的允许直径偏差为±0.2 mm。

5.2.3 直条铝钛硼线的尺寸允许偏差应符合表 7 的规定。

表 7 直条铝钛硼线的尺寸允许偏差

单位为毫米

尺寸允许偏差		
铝钛硼线的直径	直条铝钛硼线的长度	
	500~750	>750~1000
±0.3	±5	±10

5.2.4 需方对尺寸允许偏差有特殊要求时,由供需双方协商确定后在订货单(或合同)中具体注明。

5.3 力学性能

空心卷和盘装卷铝钛硼线的室温拉伸力学性能应符合表 8 的规定。需方对力学性能有特殊要求时,由供需双方协商确定后在订货单(或合同)中具体注明。

表 8 室温拉伸力学性能

类别	直径 mm	室温拉伸试验结果	
		抗拉强度 R_m , 不小于 MPa	断后伸长率 $A_{50\text{mm}}$, 不小于 %
空心卷铝钛硼线	9.5	100	15
盘装卷铝钛硼线	2.0	100	3
	3.0	100	5

5.4 显微组织

铝钛硼线的显微组织应符合表 9 的规定。需方对显微组织有特殊要求时,由供需双方协商确定后在订货单(或合同)中具体注明。表 9 中未列出牌号的铝钛硼线的显微组织由供需双方协商确定。

表9 显微组织

牌 号	等级	任意 1 cm ² 的纵截面显微组织											
		TiB ₂ 粒子		TiB ₂ 团聚			TiAl ₃ 粒子			空白条 最大宽度 μm	氧化物及 盐类夹渣		固体夹杂
		≤2 μm 的 数量占比	最大 尺寸 μm	尺寸 ≤25 μm	尺寸 25 μm~ 50 μm	尺寸 ≥50 μm	≤100 μm 的 数量占比	平均 尺寸 μm	最大 尺寸 μm		总长度 μm	最大 尺寸 μm	
AlTi3B1A	I、II	≥90%	≤5	≤3 个	不允许	不允许	≥95%	≤30	≤150	≤350	≤1000	≤500	
AlTi3B1	II	—	≤10	—	≤6 个	不允许	—	≤50	≤200	—	≤3000	—	
AlTi5B1A	I、II	≥90%	≤5	≤3 个	不允许	不允许	≥95%	≤30	≤150	≤350	≤1000	≤500	
AlTi5B1	II	—	≤10	—	≤6 个	不允许	—	≤50	≤200	—	≤3000	—	
AlTi5B0.2A	I、II	≥90%	≤5	≤3 个	不允许	不允许	≥95%	≤30	≤150	≤350	≤1000	≤500	
AlTi5B0.2	II	—	≤10	—	≤6 个	不允许	—	≤50	≤200	—	≤3000	—	

注：显微组织典型示例见附录 A。

5.5 晶粒细化能力

5.5.1 细化效果

I 级、II 级铝钛硼线经晶粒细化效果试验,其试样的平均晶粒尺寸应符合表 10 中的规定。需方对细化效果有特殊要求时,由供需双方协商确定后在订货单(或合同)中具体注明。表 10 中未列出牌号的铝钛硼线晶粒细化效果由供需双方协商后确定。

表 10 晶粒细化效果

牌 号	等级	平均晶粒尺寸 μm	
		水冷锥模法	空冷环模法
AlTi3B1A	I	≤120	≤230
	II	≤130	≤250
AlTi3B1	II	≤150	≤300
AlTi5B1A	I	≤120	≤230
	II	≤130	≤250
AlTi5B1	II	≤150	≤300
AlTi5B0.2A	I	≤150	≤300
	II	≤165	≤320
AlTi5B0.2	II	≤180	≤355

5.5.2 细化效率

I 级铝钛硼线的晶粒细化能力还应采用细化效率进行评定。I 级铝钛硼线使用量为 II 级的 1/2 时,其晶粒细化效果应达到 II 级同等水平或优于 II 级水平。需方对细化效率有特殊要求时,由供需双方协商

确定后在订货单(或合同)中具体注明。

5.6 接头

空心卷铝钛硼线及盘装卷铝钛硼线应由单根铝钛硼线卷绕而成,每卷铝钛硼线接头应不超过1个,接头应焊接牢固、平整不凸出。

5.7 外观质量

5.7.1 铝钛硼线表面应光滑清洁,不应存在夹渣、腐蚀、夹杂物、油污或其他外来物等。

5.7.2 铝钛硼线表面允许有不影响使用的表面发暗、局部的氧化色及深度不超出铝钛硼线直径允许偏差的斑点、划伤等缺陷。

5.8 线盘

盘装卷铝钛硼线的线盘应符合 GB/T 33960—2017 中 3.6 的规定。

6 试验方法

6.1 化学成分

6.1.1 化学成分分析按 GB/T 20975(所有部分)或 GB/T 7999 规定的方法进行,仲裁分析按 GB/T 20975(所有部分)规定的方法进行。

6.1.2 分析数值的判定采用修约比较法,数值修约规则应符合 GB/T 8170 的规定,修约位数与表 5 规定的极限数位一致。

6.2 尺寸偏差

6.2.1 用相应精度的量具测量。

6.2.2 尺寸测量值不准许修约,极限数值的判定方法应符合 GB/T 8170 的规定。

6.3 力学性能

室温拉伸力学性能按 GB/T 16865 规定的方法进行检测。

6.4 显微组织

显微组织检验按附录 B 规定的方法进行。TiB₂ 粒子数量占比的仲裁分析方法采用扫描电子显微镜法。

6.5 晶粒细化能力

6.5.1 细化效果

细化效果试验按附录 C 规定的水冷锥模法进行,需方要求采用空冷环模法评定晶粒细化效果时,应在订货单(或合同)中注明。

6.5.2 细化效率

细化效率试验参照附录 D 规定的方法进行。

6.6 接头

目视检查接头数量和质量。

6.7 外观质量

在自然散射光下,目视检查外观质量。

6.8 线盘

线盘尺寸偏差用能保证相应精度的量具测量,其他项目以目视检查。

7 产品合格鉴定

需方有要求时,可参照附录 E 的规定对铝钛硼线进行产品合格鉴定。

8 过程控制

供方应对产品生产过程进行控制,过程控制宜参照附录 F 的规定。

9 检验规则

9.1 检查和验收

9.1.1 铝钛硼线应由供方进行检验,保证产品质量符合本文件及订货单(或合同)的规定,并填写质量证明书。

9.1.2 需方应对收到的产品按本文件的规定进行检验。检验结果与本文件或订货单(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规格的异议,应在收到产品之日起一个月内提出;属于其他性能的异议,应在收到产品之日起三个月内提出。如需仲裁,可委托供需双方认可的单位进行,并在需方共同取样。

9.2 组批

铝钛硼线应成批提交验收,每批应由同一牌号、等级、类别、熔次和尺寸规格的产品组成。

9.3 计重

产品应检斤计重。

9.4 检验项目

9.4.1 铝钛硼线和线盘的检验分为产品合格鉴定、出厂检验和定期检验项目,应符合表 11 的规定。

表 11 检验项目

检 验 项 目		产品合格鉴定	出厂检验	定期检验
铝钛硼线	化学成分	√	√	—
	尺寸偏差	√	√	—
	力学性能	√	— ^a	√

表 11 检验项目(续)

检 验 项 目		产品合格鉴定	出厂检验	定期检验	
铝钛硼线	显微组织	光学(金相)显微镜法	√	—	
		扫描电子显微镜法	√	— ^a	
	晶粒细化能力	细化效果	√	— ^a	√
		细化效率	√	—	—
	接头		√	√	—
	外观质量		√	√	—
线盘		√	— ^a	√	
^a 需方有要求时,对此项目进行检验。					

9.4.2 定期检验项目的测试频次由供需双方商定,若需方无明确要求,供方应每月进行一次力学性能、细化效果和线盘的检验,每半年进行一次显微组织扫描电子显微镜法的检验。

9.5 取样

铝钛硼线和线盘的取样应符合表 12 的规定。

表 12 取样

检 验 项 目	取 样 规 定			要求的章条号	试验方法的章条号	
	空心卷铝钛硼线	盘装卷铝钛硼线	直条铝钛硼线			
铝钛硼线	化学成分		按 GB/T 17432 的规定进行	5.1	6.1	
	尺寸偏差		逐卷检测	每批抽取不少于 5 根	5.2	6.2
	力学性能		每批抽取卷数量的 10%,不少于 1 卷。在每个卷上切取至少 1 个试样。试样制取方法应符合 GB/T 16865 的规定	—	5.3	6.3
	显微组织		每批抽取卷数量的 10%,不少于 1 卷。在每个卷上切取至少 1 个试样	每批抽取 1 根,切取 1 个试样	5.4	6.4
	晶粒细化能力	细化效果	每批抽取卷数量的 10%,不少于 1 卷。在每个卷上切取至少 1 个试样	每批抽取 1 根,从每根上切取 1 个试样	5.5	6.5
		细化效率	I 级、II 级各取 5 批,每批 1 个试样			
	接头		逐卷检查	—	5.6	6.6
	外观质量		逐卷检查	逐根检查	5.7	6.7
线盘		—	每批至少抽取 2 盘	—	5.8	6.8

9.6 检验结果的判定

9.6.1 任一试样的化学成分不合格时,判该批产品不合格。

9.6.2 任一试样的尺寸偏差不合格时,判该卷(根)产品不合格,其余产品逐卷(根)检验,合格者交货。

- 9.6.3 任一试样的显微组织、力学性能不合格时,应从该批产品中另取双倍数量的试样进行重复试验。重复试验结果全部合格,判该批产品合格。若重复试验结果中仍有不合格,则判该批产品不合格。
- 9.6.4 任一试样晶粒细化效果试验结果不合格时,从该批产品中另取双倍数量的试样进行重复试验。重复试验结果全部合格,判该批产品合格。若重复试验结果中仍有不合格,则判该批产品不合格。任一试样晶粒细化效率试验结果不合格时,判该批产品不合格。
- 9.6.5 任一试样的接头不合格时,判该卷产品不合格。
- 9.6.6 任一试样的外观质量不合格时,判该卷(根)产品不合格。
- 9.6.7 任一线盘不合格时,判该盘产品不合格,其余产品逐盘检验,合格者交货。

10 标志、包装、运输、贮存及质量证明书

10.1 标志

10.1.1 产品标志

10.1.1.1 在检验合格的铝钛硼线上,每间隔 1 m(空心卷铝钛硼线)或 0.5 m(直条铝钛硼线)应做连续标识,标识应含有生产厂家、牌号、等级、批号等内容。

10.1.1.2 在检验合格的铝钛硼线上宜做颜色标识,AlTi3B1、AlTi5B1A、AlTi5B1、AlTi1.7B1.4、AlTi10B1 的颜色标识宜符合 GB/T 27677 的规定,其他铝钛硼线牌号的颜色标识宜符合表 13 的规定。需方对颜色标识有特殊要求时,由供需双方协商确定后,在订货单(或合同)中具体注明。

表 13 颜色标识

牌 号	颜色标识
AlTi3B1A	绿色+棕色
AlTi5B0.2A、AlTi5B0.2	绿色+黑色
AlTi5B0.6	绿色+黄色
AlTi6B1.2	绿色+浅橙色

10.1.2 包装标志

在铝钛硼线的外包装上应做含有如下内容的印记(或附标签):

- 供方名称;
- 产品名称;
- 牌号、等级;
- 尺寸规格;
- 批号;
- 颜色标识;
- 供方质检部门的检印(或质检人员的签名或印章);
- 本文件编号。

10.2 包装、运输、贮存

铝钛硼线包装、运输、贮存应防雨防潮,其他应符合 GB/T 3199 的规定。需方对包装有特殊要求时,由供需双方协商确定后,在订货单(或合同)中具体注明。

10.3 质量证明书

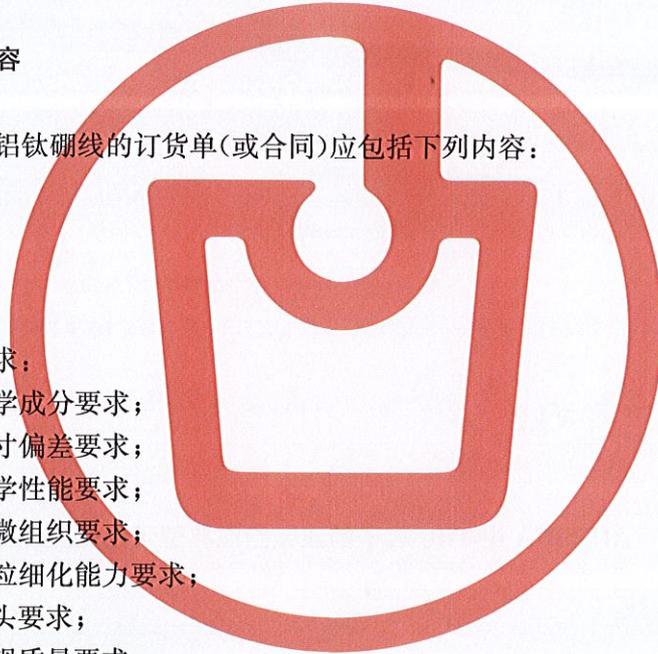
每批产品应附有产品质量证明书,注明:

- a) 供方名称、地址;
- b) 产品名称;
- c) 牌号、等级;
- d) 尺寸规格;
- e) 批号;
- f) 净重(或数量);
- g) 分析检验结果及技术监督部门印记;
- h) 本文件编号;
- i) 出厂日期(或包装日期)。

11 订货单(或合同)内容

订购本文件所规定铝钛硼线的订货单(或合同)应包括下列内容:

- a) 产品名称。
- b) 牌号、等级。
- c) 尺寸规格。
- d) 净重(数量)。
- e) 需方的特殊要求:
 - 特殊的化学成分要求;
 - 特殊的尺寸偏差要求;
 - 特殊的力学性能要求;
 - 特殊的显微组织要求;
 - 特殊的晶粒细化能力要求;
 - 特殊的接头要求;
 - 特殊的外观质量要求;
 - 特殊的标志和包装要求。
- f) 本文件编号。



附录 A
(资料性)
显微组织典型示例

A.1 TiB_2 粒子

TiB_2 粒子一般呈块状,颗粒硬度较大,磨抛后凸出于铝基体,分布大致均匀,如图 A.1~图 A.4 所示。

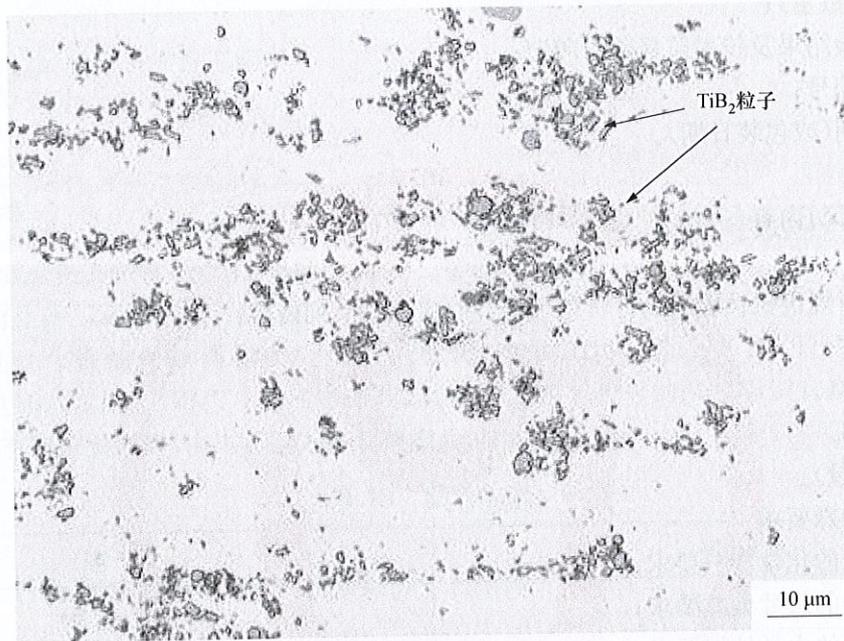


图 A.1 AlTi5B1A 中 TiB_2 粒子的显微组织典型示例(浸蚀剂浸蚀)

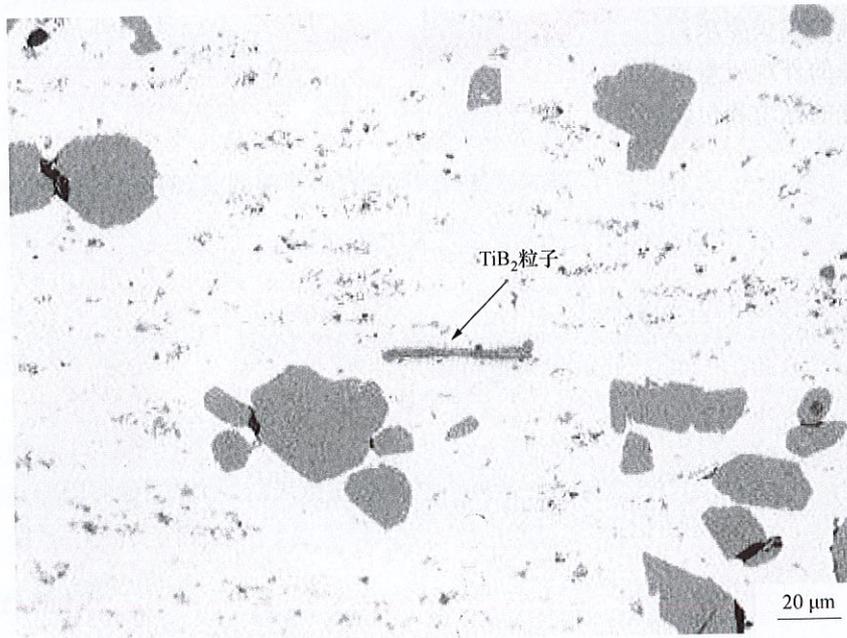


图 A.2 AlTi5B1 中 TiB_2 粒子的显微组织典型示例(未浸蚀)

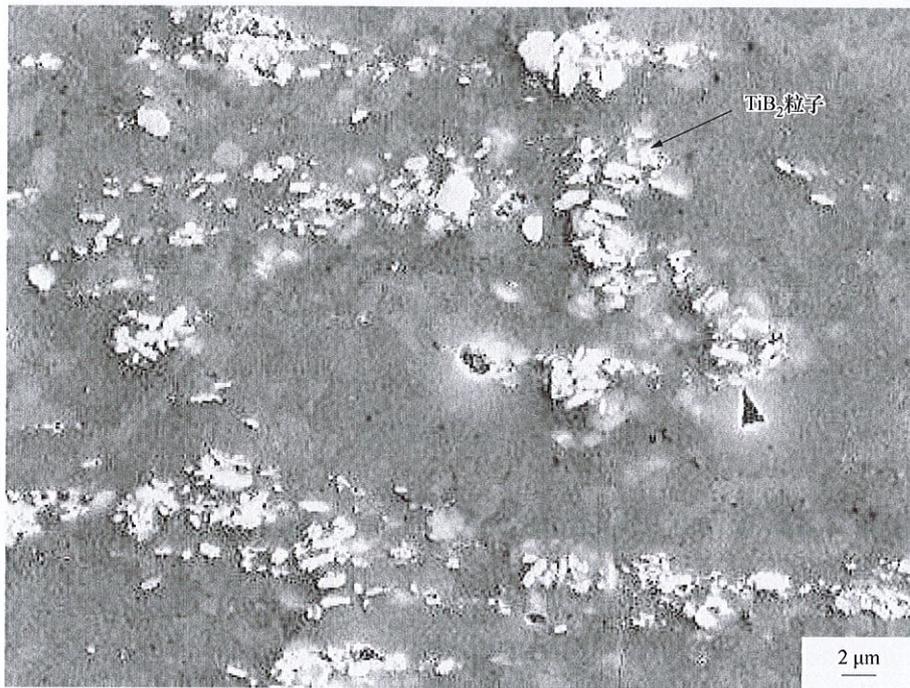


图 A.3 AlTi5B1A 中 TiB_2 粒子二次电子形貌的显微组织典型示例(浸蚀剂浸蚀)

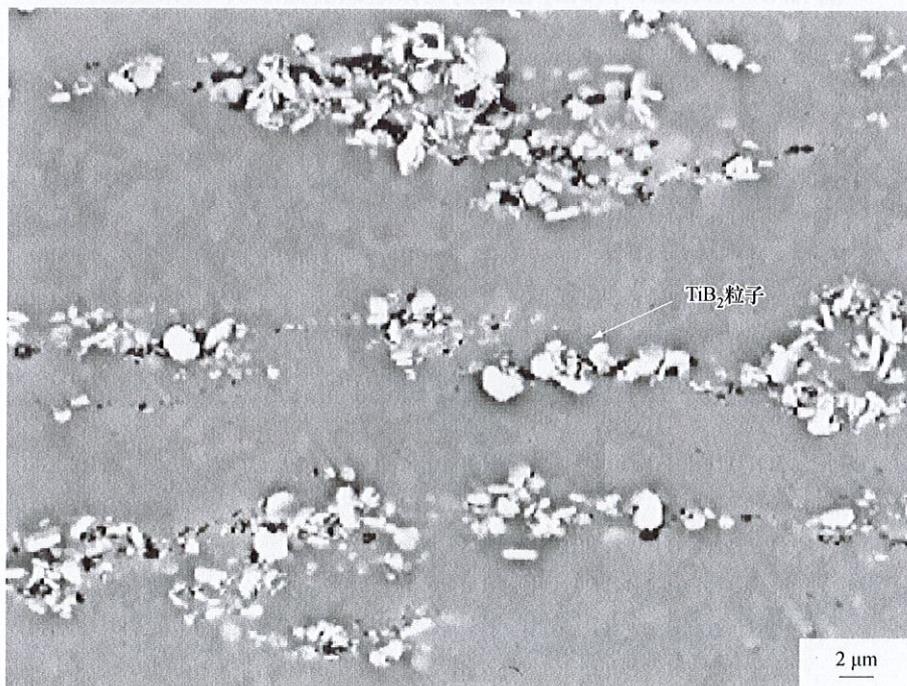


图 A.4 AlTi5B1A 中 TiB_2 粒子背散射形貌的显微组织典型示例(浸蚀剂浸蚀)

A.2 TiB₂ 团聚

TiB₂ 团聚一般由多个 TiB₂ 粒子聚集或熔融在一起,并且边界清晰,如图 A.5~图 A.8 所示。

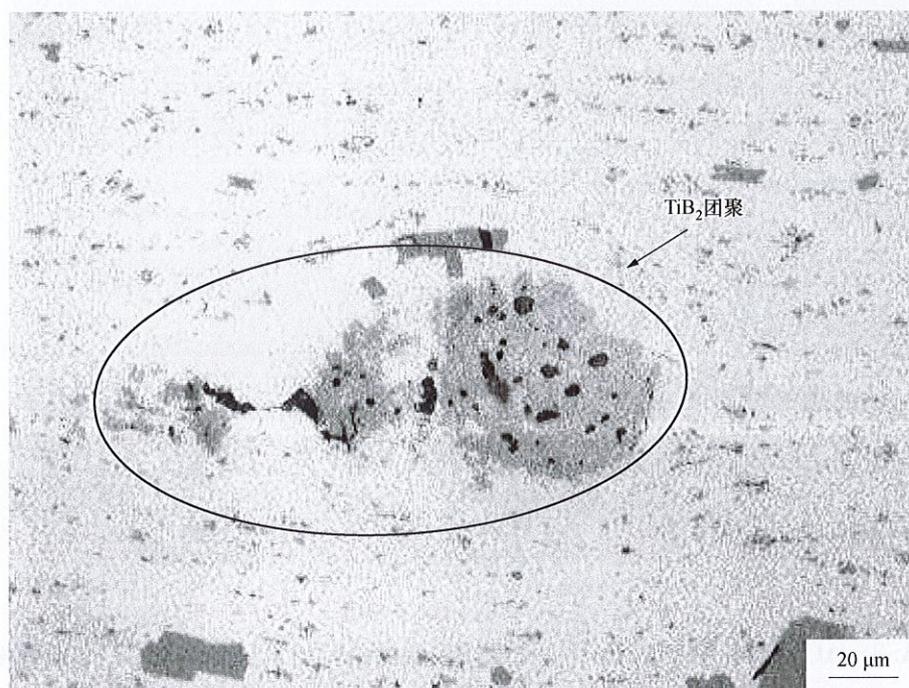


图 A.5 AlTi₃B₁ 中 TiB₂ 团聚的显微组织典型示例一(未浸蚀)

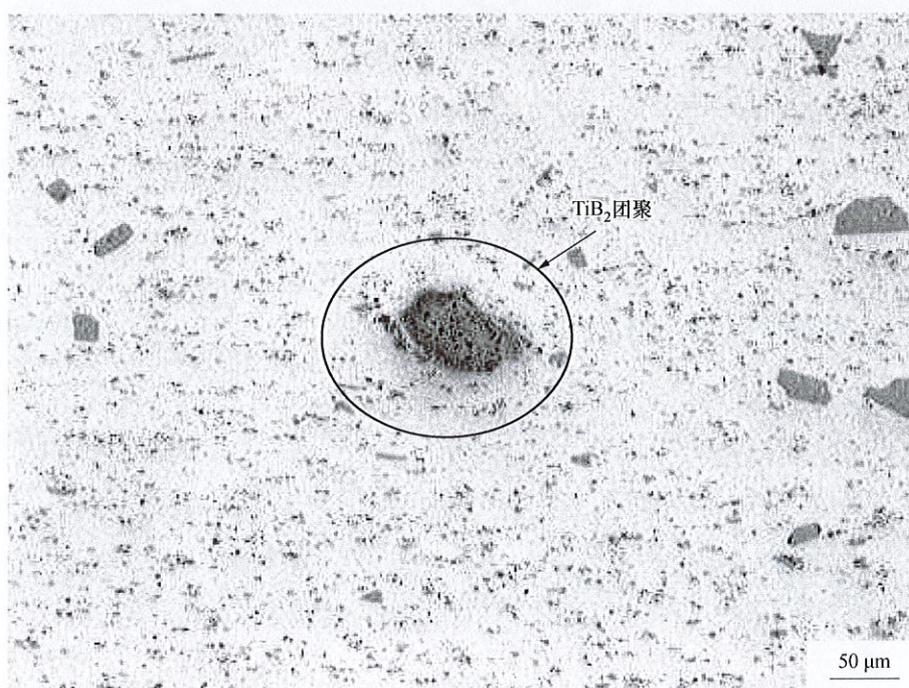


图 A.6 AlTi₃B₁ 中 TiB₂ 团聚的显微组织典型示例二(未浸蚀)



图 A.7 AlTi5B1 中 TiB₂ 团聚的显微组织典型示例一(未浸蚀)

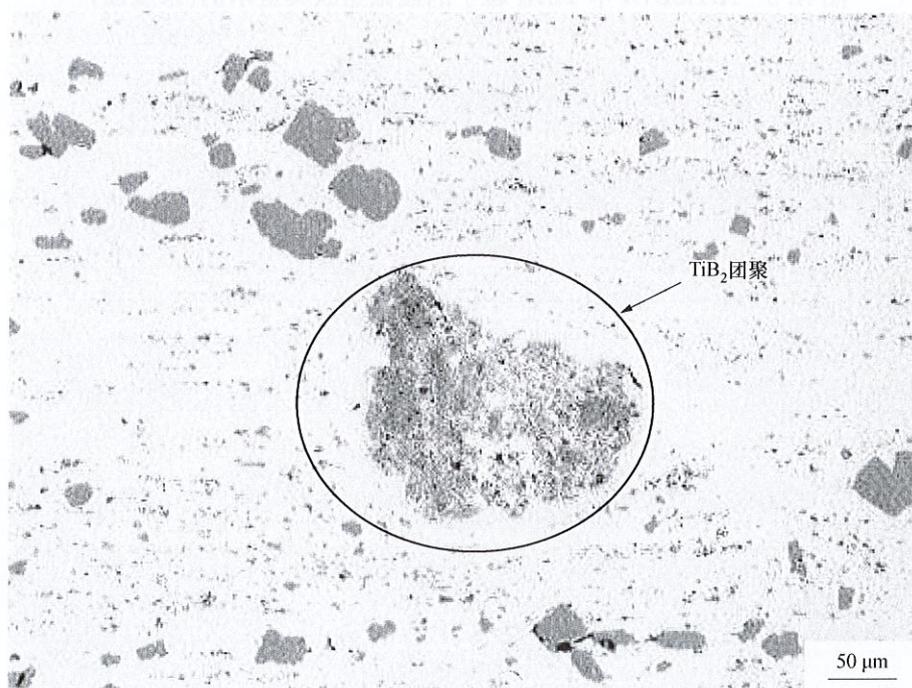


图 A.8 AlTi5B1 中 TiB₂ 团聚的显微组织典型示例二(未浸蚀)

A.3 TiAl₃ 粒子

TiAl₃ 粒子一般呈杆状或块状,硬度与基体相近,磨抛后无明显浮凸,如图 A.9~图 A.14 所示。

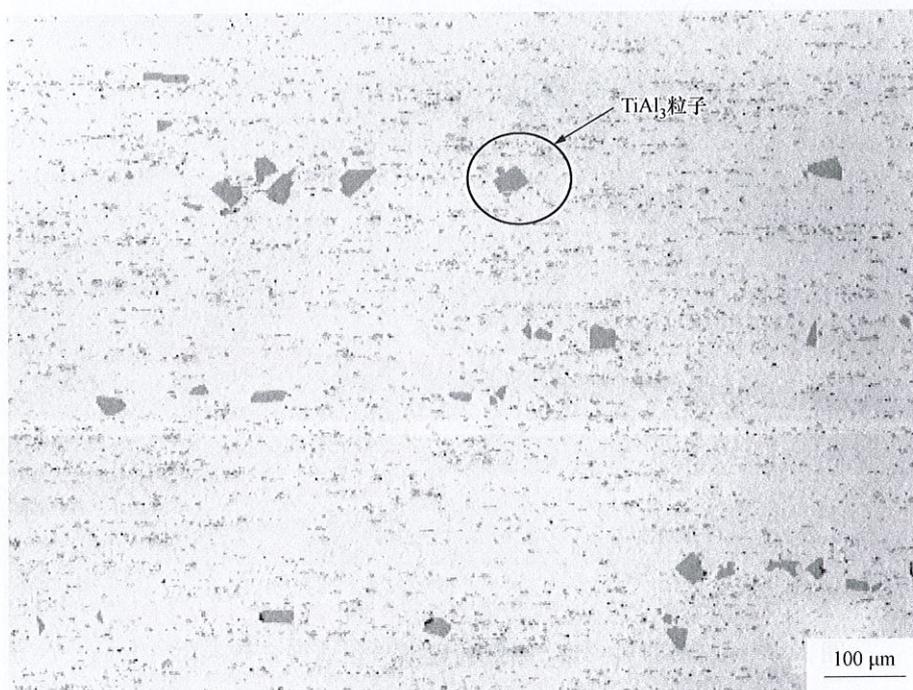


图 A.9 AlTi3B1A 中 TiAl₃ 粒子的显微组织典型示例(未浸蚀)



图 A.10 AlTi3B1 中 TiAl₃ 粒子的显微组织典型示例(未浸蚀)

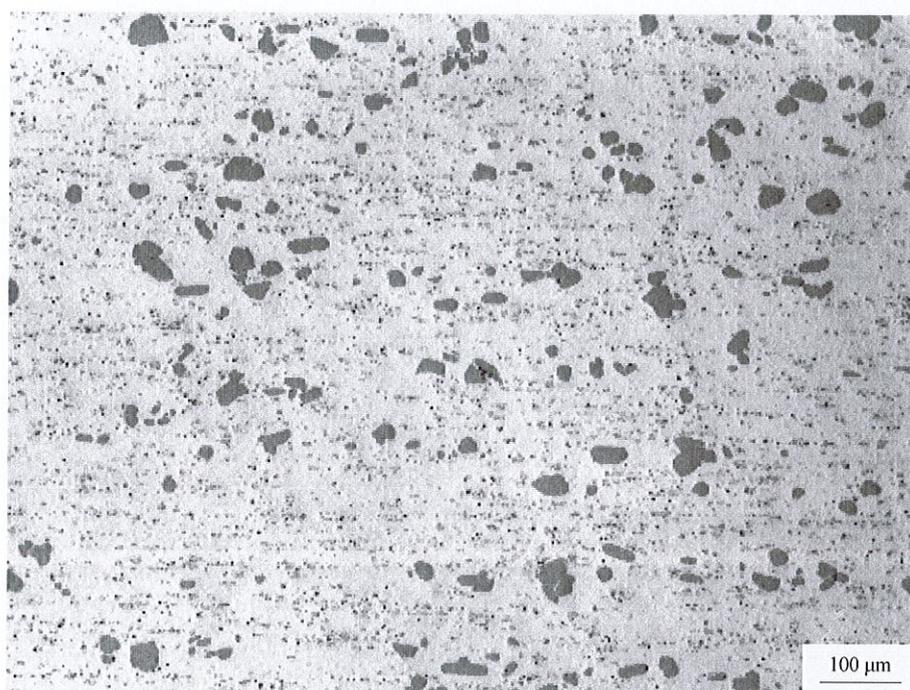


图 A.11 AITi5B1A 中 TiAl₃ 粒子的显微组织典型示例(未浸蚀)

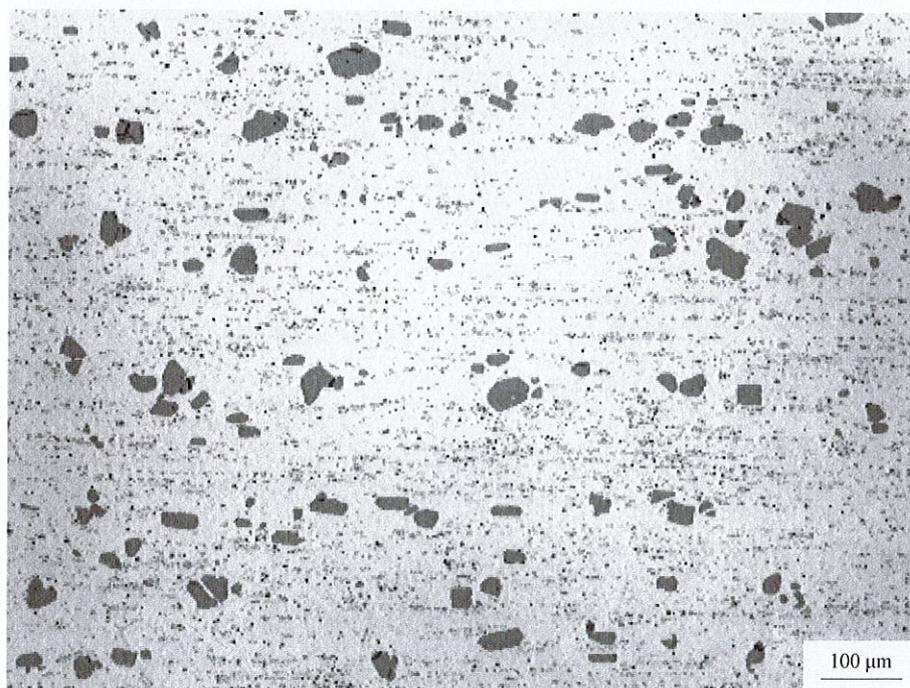


图 A.12 AITi5B1 中 TiAl₃ 粒子的显微组织典型示例(未浸蚀)



图 A.13 AlTi5B0.2A 中 $TiAl_3$ 粒子的显微组织典型示例(未浸蚀)

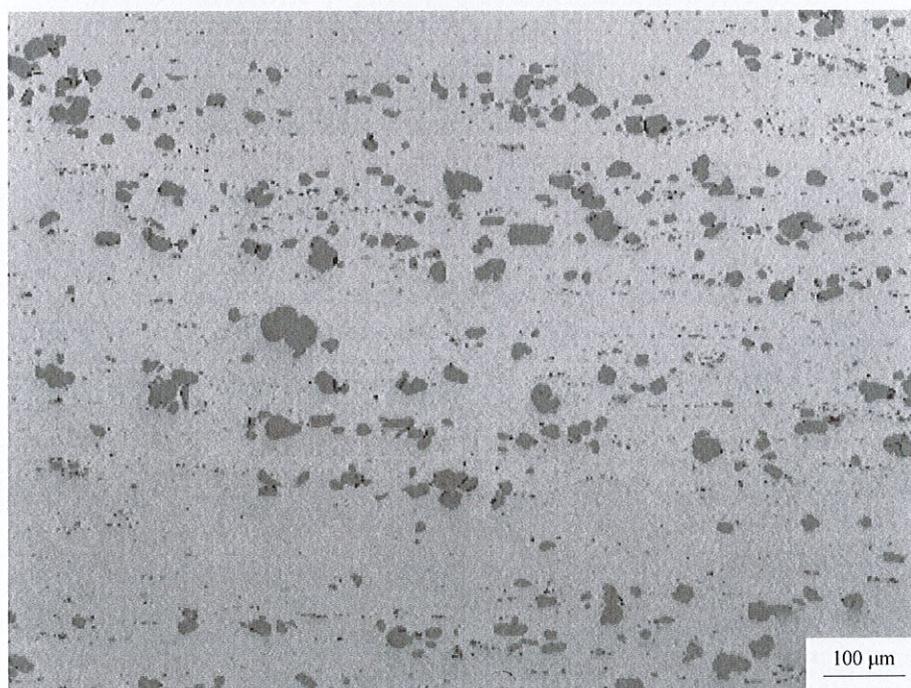


图 A.14 AlTi5B0.2 中 $TiAl_3$ 粒子的显微组织典型示例(未浸蚀)

A.4 空白条

空白条沿铝钛硼线的变形方向呈条带状分布,在光学(金相)显微镜下呈均匀灰色铝基体组织,空白条中无 TiAl_3 粒子和 TiB_2 粒子分布,如图 A.15~图 A.16 所示。

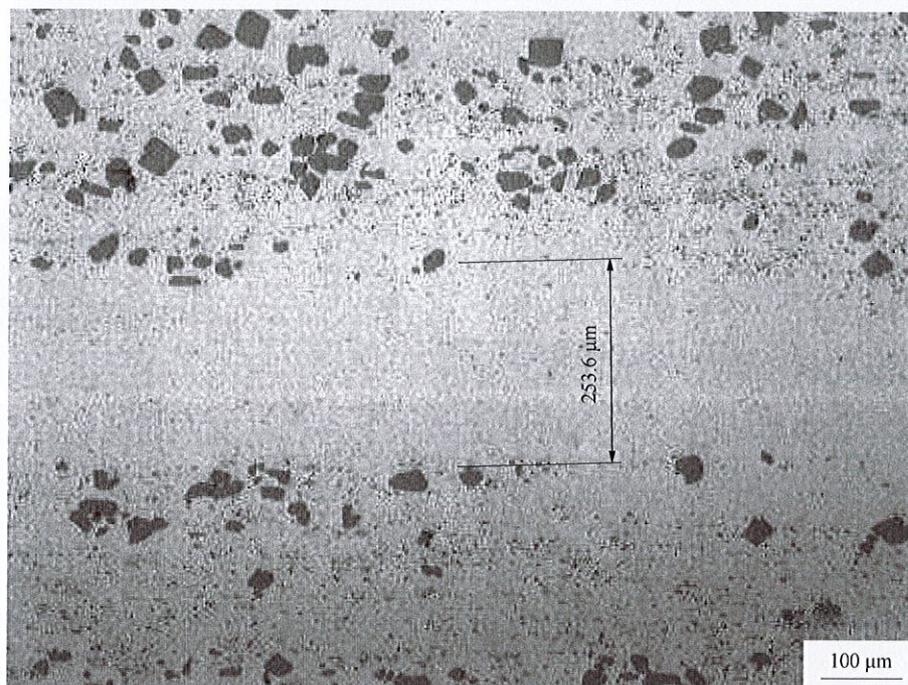


图 A.15 AITi5B1A 中空白条的显微组织典型示例(未浸蚀)



图 A.16 AITi5B1 中空白条的显微组织典型示例(未浸蚀)

A.5 氧化物及盐类夹渣

氧化物及盐类夹渣沿铝钛硼线的变形方向呈线条状分布,在光学(金相)显微镜下呈黑色,一般较松散,中心无致密块,如图 A.17~图 A.20 所示。

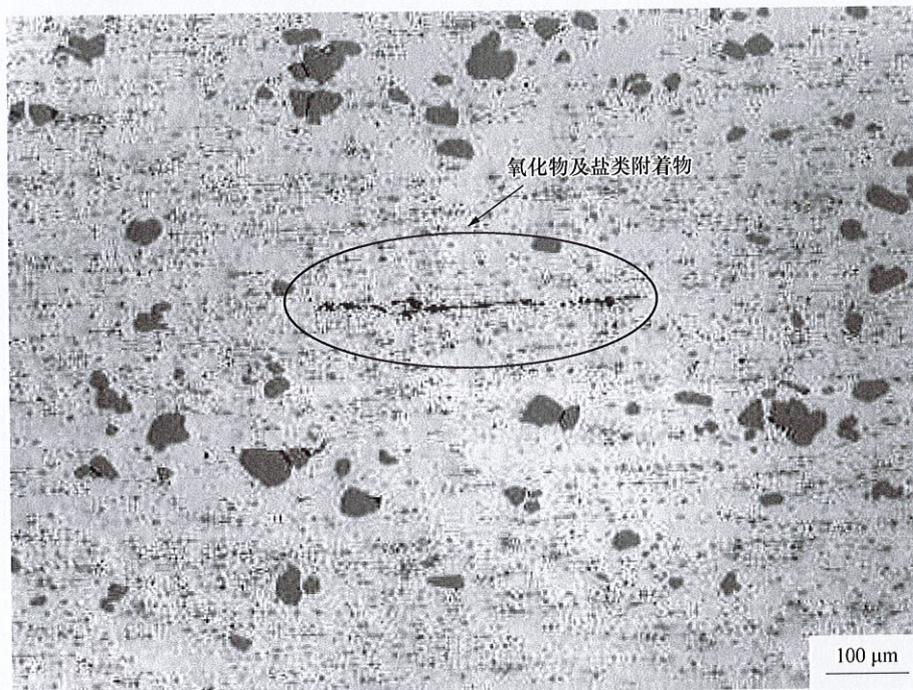


图 A.17 AITi5B1A 中氧化物及盐类附着物的显微组织典型示例(未浸蚀)

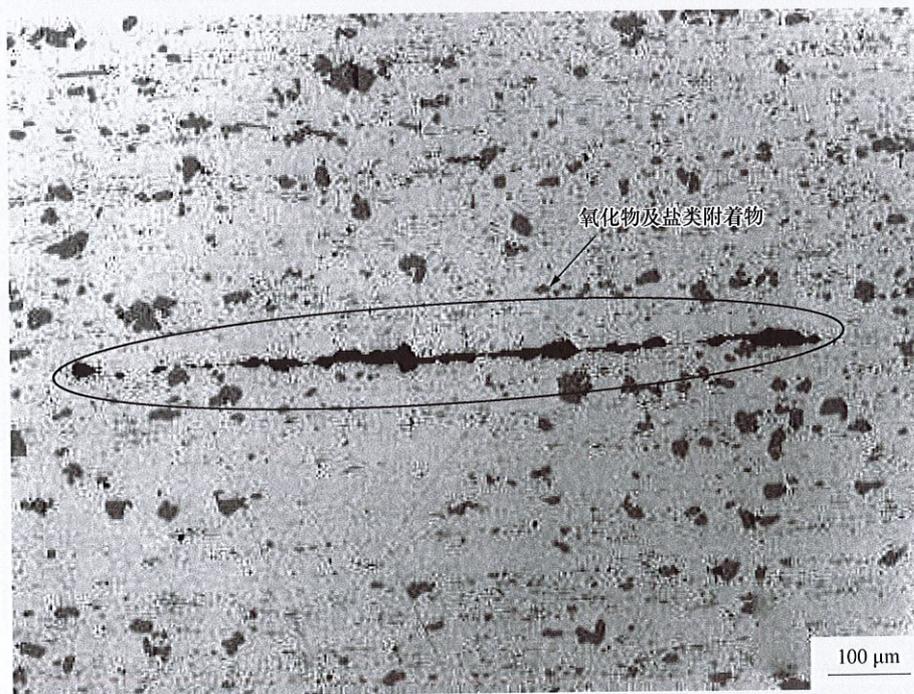


图 A.18 AITi5B1 中氧化物及盐类附着物的显微组织典型示例(未浸蚀)

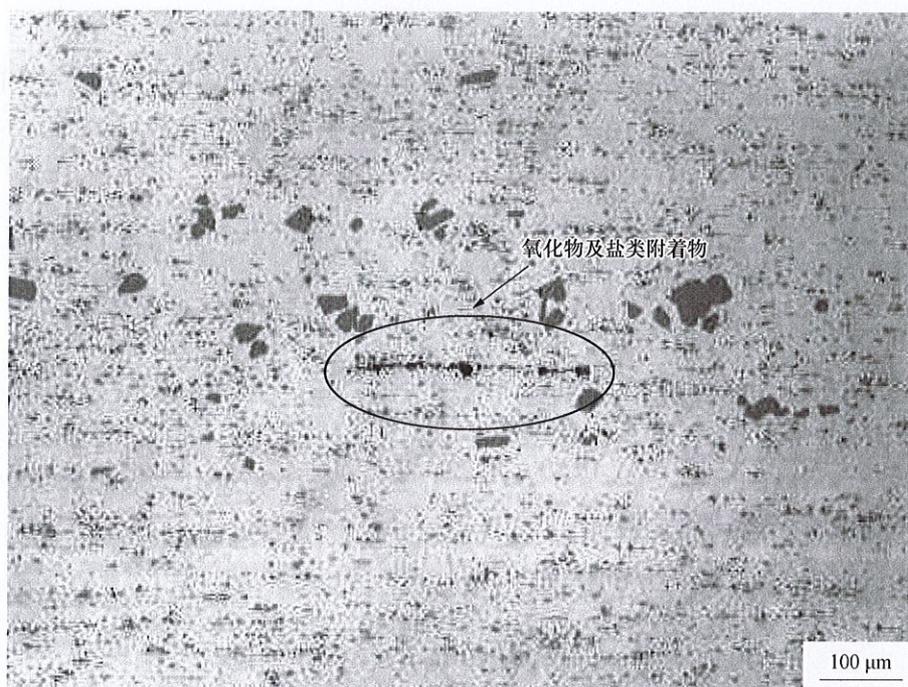


图 A.19 AlTi3B1A 中氧化物及盐类附着物的显微组织典型示例(未浸蚀)



图 A.20 AlTi5B0.2 中氧化物及盐类附着物的显微组织典型示例(未浸蚀)

A.6 固体夹杂

固体夹杂包括铝硼化合物、耐火材料、未溶解的金属夹杂等,其中 AlB_2 相在光学(金相)显微镜下呈浅黄色,其他固体夹杂相(AlB_{12} 、耐火材料、未溶解的金属夹杂等)在光学(金相)显微镜下一般呈深灰色或黑色,致密且坚硬,如图 A.21~图 A.26 所示。

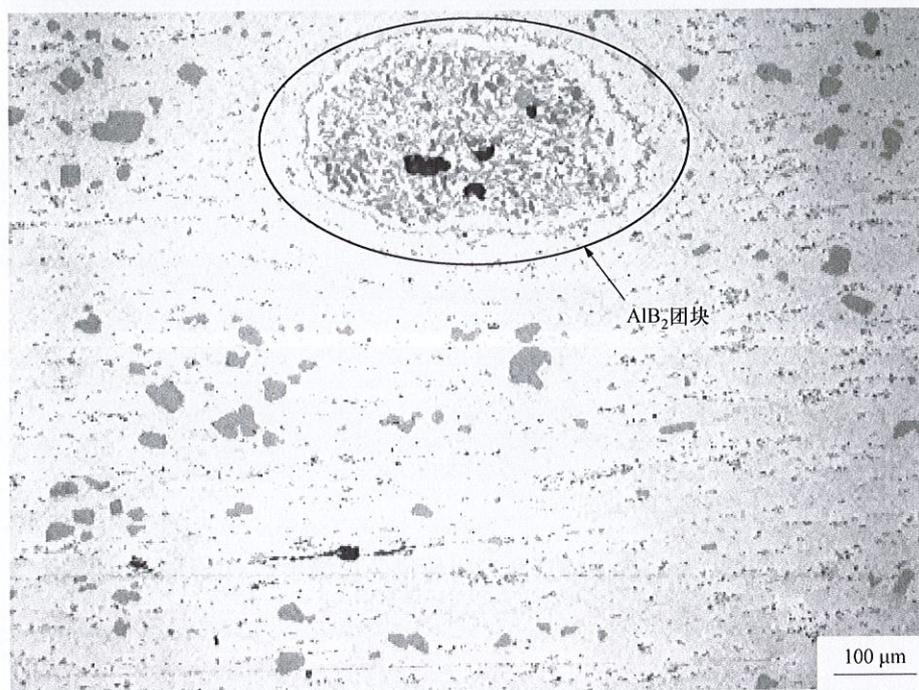


图 A.21 AlTi5B0.2 中固体夹杂(AlB_2 团状)的显微组织典型示例(未浸蚀)

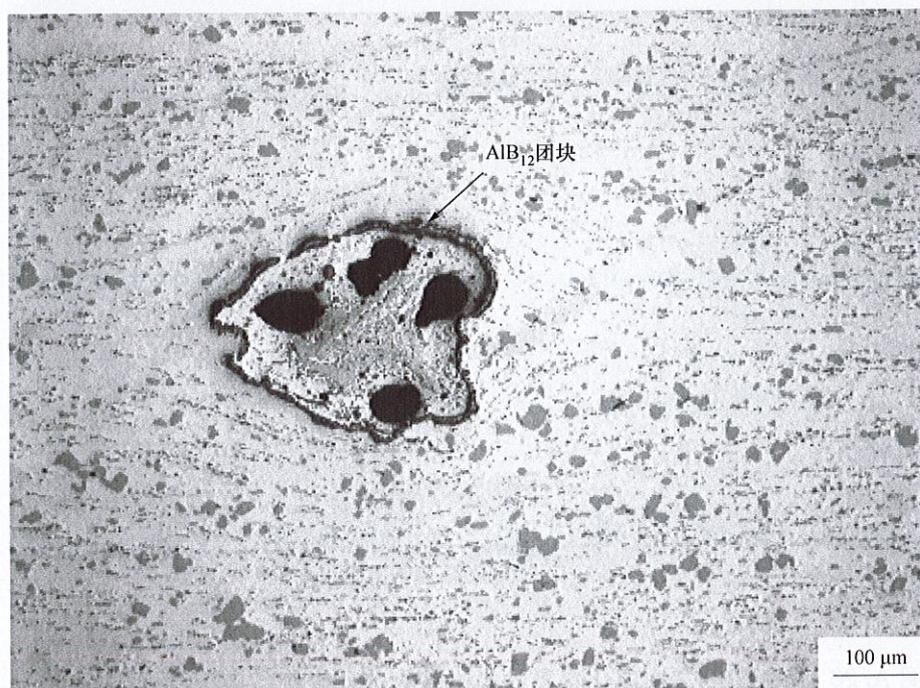


图 A.22 AlTi5B1 中固体夹杂(环形 AlB_{12} 团块)的显微组织典型示例(未浸蚀)



图 A. 23 AITi5B0.2 中固体夹杂(耐火材料)的显微组织典型示例一(未浸蚀)

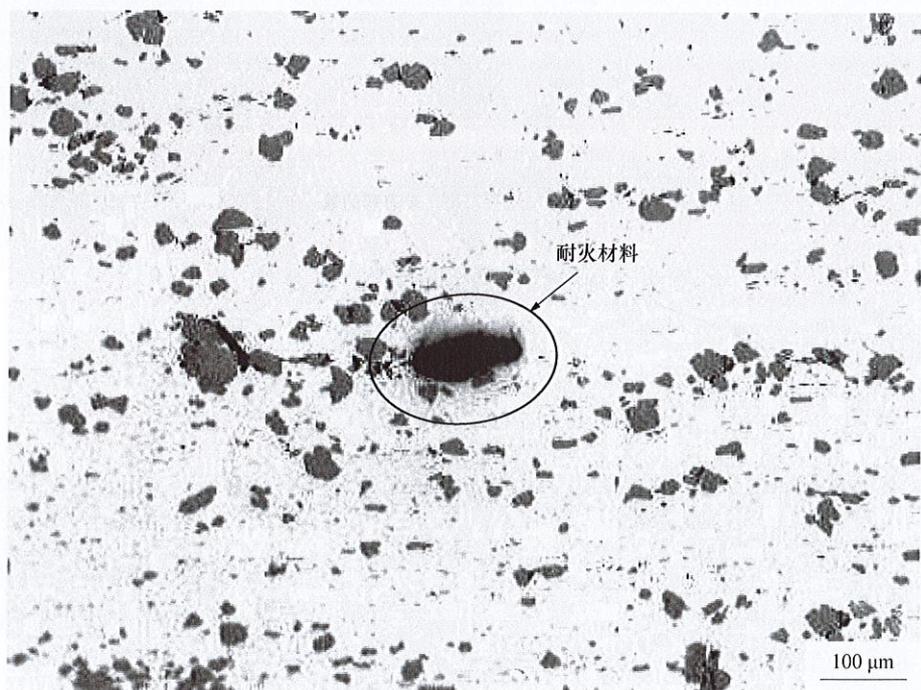


图 A. 24 AITi5B0.2 中固体夹杂(耐火材料)的显微组织典型示例二(未浸蚀)

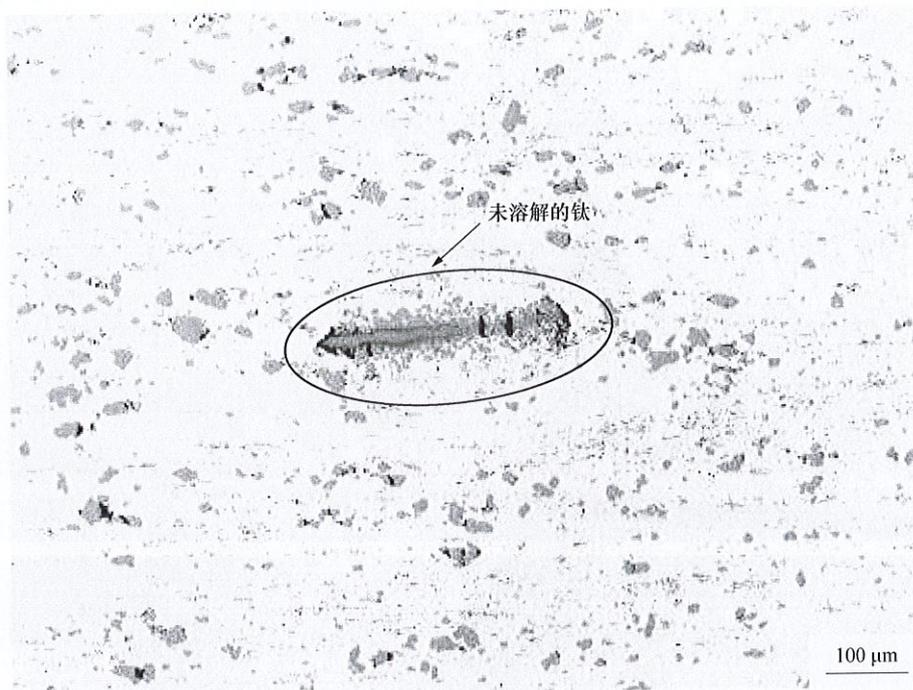


图 A. 25 AlTi5B1 中固体夹杂(未溶解的钛)的显微组织典型示例一(未浸蚀)

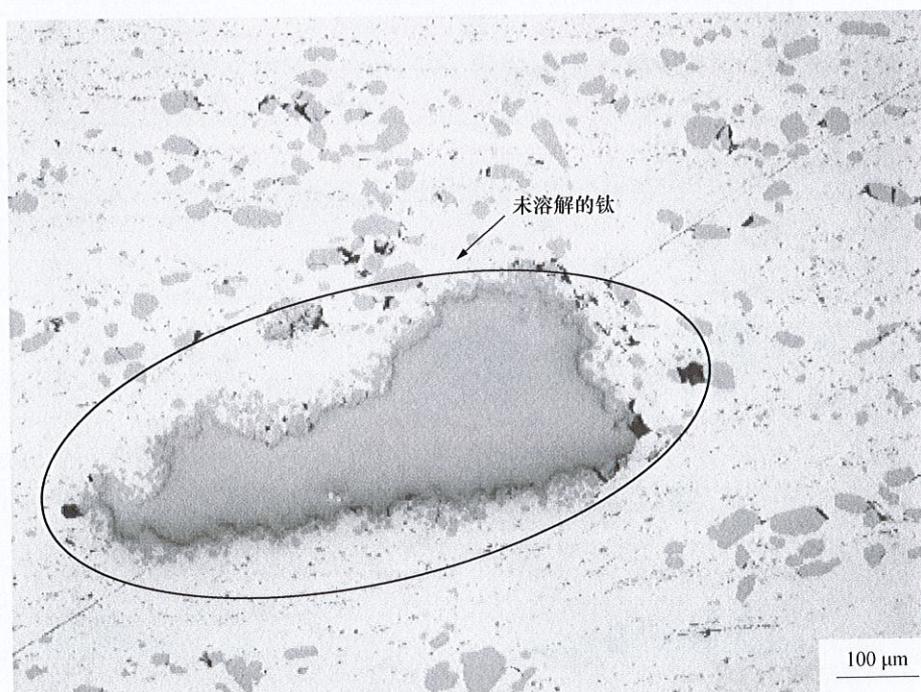


图 A. 26 AlTi5B1 中固体夹杂(未溶解的钛)的显微组织典型示例二(未浸蚀)

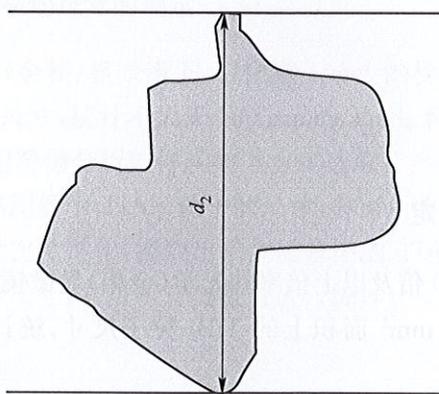
附录 B
(规范性)
显微组织检验方法

B.1 方法概述

TiB₂ 粒子及其数量占比、TiB₂ 团聚、TiAl₃ 粒子及其数量占比、空白条、氧化物及盐类夹渣、固体夹杂等的显微组织检验采用如下方法进行：

- 光学(金相)显微镜法:通过光学(金相)显微镜采集图像,采用图像分析软件对图像中第二相粒子及组织缺陷进行测量分析;
- 扫描电子显微镜法:通过扫描电子显微镜采集 TiB₂ 粒子的二次电子图像或背散射电子图像,采用图像分析软件对图像中 TiB₂ 粒子数量占比进行测定。

注:显微组织中 TiB₂ 粒子、TiB₂ 团聚、TiAl₃ 粒子、氧化物及盐类夹渣、固体夹杂测量尺寸为最大卡规尺寸,也称为 Feret 直径,为粒子周边最远两点间的距离,如图 B.1 所示。空白条测量尺寸为横向最大宽度。



标引序号说明:

d_2 ——最大卡规尺寸。

图 B.1 最大卡规尺寸的测量示意图

B.2 试剂或材料

除非另有说明,在分析中仅使用确认为化学纯的试剂和符合 GB/T 6682 规定的三级水。

B.2.1 浸蚀剂:将氢氟酸($\rho=1.15\text{ g/mL}$)、盐酸($\rho=1.19\text{ g/mL}$)、硝酸($\rho=1.40\text{ g/mL}$)、水以 2 : 3 : 5 : 390 的体积相混合,混匀。

B.2.2 脱脂棉。

B.3 仪器及设备

B.3.1 光学(金相)显微镜:应符合 GB/T 3246.1—2024 的规定。测定 TiB₂ 粒子数量占比时,光学(金相)显微镜 1000 倍及以上倍率下的分辨率不超过 $0.35\ \mu\text{m}$ 。

B.3.2 扫描电子显微镜:应符合 T/CNIA 0161—2023 的规定。

B.3.3 金相抛光机。

B.4 试样

B.4.1 试样长度不小于 10 mm。检验面为通过试样中心轴的纵截面,面积不小于 1 cm²。

B.4.2 试样较小宜进行镶样。试样表面应洁净。若需镶嵌扫描电子显微镜法的试样,宜采用导电粉镶嵌,非导电粉镶嵌的试样,可在试样边部粘贴导电胶带与样品座相连,以保证检验面导电良好。

B.4.3 将试样按 GB/T 3246.1—2024 的规定进行研磨后,依次进行粗抛、细抛和精抛,其中精抛的最后步骤需在尺寸小于 0.1 μm 的微粒下抛光,直至光学(金相)显微镜上可观察到清晰的 TiB₂ 粒子、TiAl₃ 粒子等组织为止,得到显微组织试样 A。

B.4.4 将试样按 B.4.3 方法进行机械磨抛后,采用脱脂棉(B.2.2)蘸取浸蚀剂(B.2.1)轻微擦拭制备好的试样表面,时间宜控制在 7 s~15 s,浸蚀后立即用水冲洗 15 s,在水中浸泡 2 min,用酒精脱脂棉擦净并吹干。腐蚀效果以增强 TiB₂ 粒子轮廓边界且无明显 TiB₂ 粒子脱落现象为准,得到显微组织试样 B。

B.5 组织检验

B.5.1 光学(金相)显微镜法

B.5.1.1 TiB₂ 粒子数量占比的测定

B.5.1.1.1 将试样 B 放置在 1000 倍及以上倍率的光学(金相)显微镜下,取任意 1 cm² 的检验面,采用显微镜上的标尺测量不小于 0.02 mm² 面积上的 TiB₂ 粒子尺寸,统计不大于 2 μm 的 TiB₂ 粒子数量占比。

B.5.1.1.2 TiB₂ 粒子的测量采用图像分析软件从如下方式选取:

- 手动测量:手动测量采集图像中 TiB₂ 粒子的尺寸,并对所有测量值进行统计;
- 自动测量:先对图像做对比度优化,提取出采集图像中的 TiB₂ 粒子,对粘连的 TiB₂ 粒子进行分割,测量 TiB₂ 粒子的尺寸,并对所有测量值进行统计。

B.5.1.2 TiB₂ 粒子最大尺寸的测定

将试样 A 放置在 500 倍~1000 倍光学(金相)显微镜下,取任意 1 cm² 的检验面,采用显微镜上的标尺测量 TiB₂ 粒子的最大尺寸。

B.5.1.3 TiB₂ 团聚尺寸的测定

将试样 A 放置在 100 倍~500 倍光学(金相)显微镜下,取任意 1 cm² 的检验面,采用显微镜上的标尺测量 TiB₂ 团聚的数量和尺寸。

B.5.1.4 TiAl₃ 粒子最大尺寸的测定

将试样 A 放置在 100 倍光学(金相)显微镜下,取任意 1 cm² 的检验面,采用显微镜上的标尺测量 TiAl₃ 粒子的最大尺寸。如图 B.2 所示。

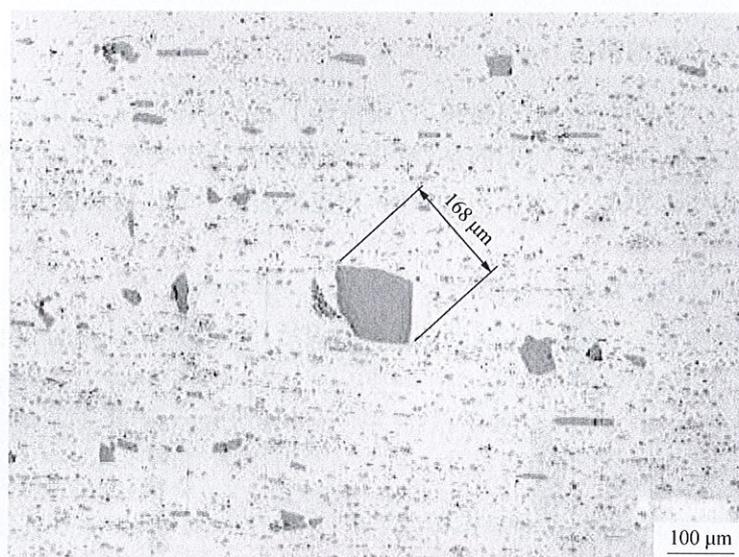


图 B.2 AITi3B1 中 TiAl₃ 粒子最大尺寸显微组织的测量示例图(未浸蚀)

B.5.1.5 TiAl₃ 粒子数量占比和平均尺寸的测定

将试样 A 放置在 100 倍光学(金相)显微镜下,取任意 1 cm² 的检验面,采用显微镜上的标尺测量不小于 2 mm² 面积上的 TiAl₃ 粒子尺寸,统计不大于 100 μm 的 TiAl₃ 粒子数量占比,并计算 TiAl₃ 粒子的平均尺寸。TiAl₃ 粒子的测量采用图像分析软件从如下方式选取:

- 手动测量:手动测量采集图像中 TiAl₃ 粒子的尺寸,并对所有测量值进行统计;
- 自动测量:先对图像做对比度优化,提取出采集图像中的 TiAl₃ 粒子,对粘连的 TiAl₃ 粒子进行分割,测量 TiAl₃ 粒子的尺寸,并对所有测量值进行统计。

B.5.1.6 空白条的测定

将试样 A 放置在 50 倍~100 倍光学(金相)显微镜下,取任意 1 cm² 的检验面,采用显微镜上的标尺测量空白条的最大宽度,如图 B.3 所示。

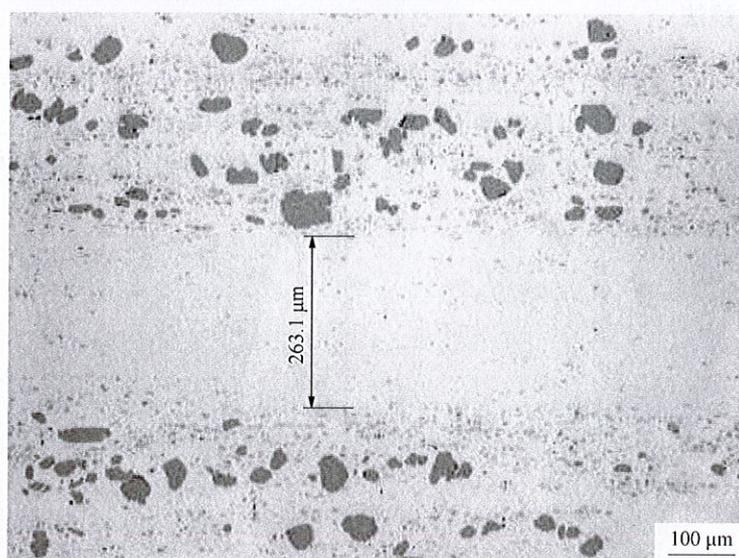
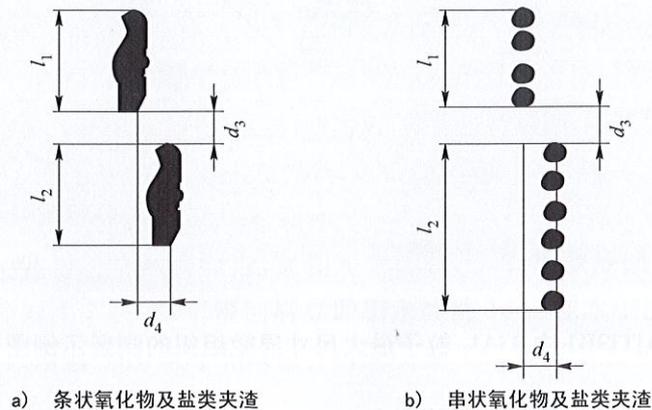


图 B.3 AITi5B1A 中空白条最大宽度显微组织的测量示例图(未浸蚀)

B.5.1.7 氧化物及盐类夹渣的测定

将试样 A 放置在 100 倍光学(金相)显微镜下,取任意 1 cm^2 的检验面,采用显微镜上的标尺测量氧化物单个尺寸。两条在或不在一条直线上的条(串)状氧化物及盐类夹渣之间,沿变形方向的纵向距离(d_3)不大于 $40\text{ }\mu\text{m}$ 且横向距离(d_4)不大于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 时,则应视为单个氧化物及盐类夹渣,如图 B.4 所示。

单位为毫米



标引序号说明:

- l_1 ——氧化物及盐类夹渣 1 的长度;
- l_2 ——氧化物及盐类夹渣 2 的长度;
- d_3 ——相邻氧化物及盐类夹渣之间纵向距离;
- d_4 ——相邻氧化物及盐类夹渣之间横向距离。

图 B.4 氧化物及盐类夹渣测量示意图

B.5.1.8 固体夹杂的检验

将试样 A 放置在 100 倍~500 倍光学(金相)显微镜下,取任意 1 cm^2 的检验面,检查其中是否存在固体夹杂。

B.5.2 扫描电子显微镜法

将试样 B 放置在 2000 倍及以上的扫描电子显微镜下,取任意 1 cm^2 的检验面,采集 TiB_2 粒子的二次电子图像或背散射电子图像。采用显微镜上的标尺测量不小于 0.02 mm^2 面积上所有 TiB_2 粒子的尺寸,统计不大于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 的 TiB_2 粒子数量占比。 TiB_2 粒子的测量采用图像分析软件按 B.5.1.1.2 进行分析。

δ	D_4	d_5	b_2	h_1	h_2	L_2
3 ± 0.2	75 ± 0.5	25 ± 0.5	28 ± 0.5	65 ± 0.5	95 ± 0.5	400 ± 5

标引序号说明：

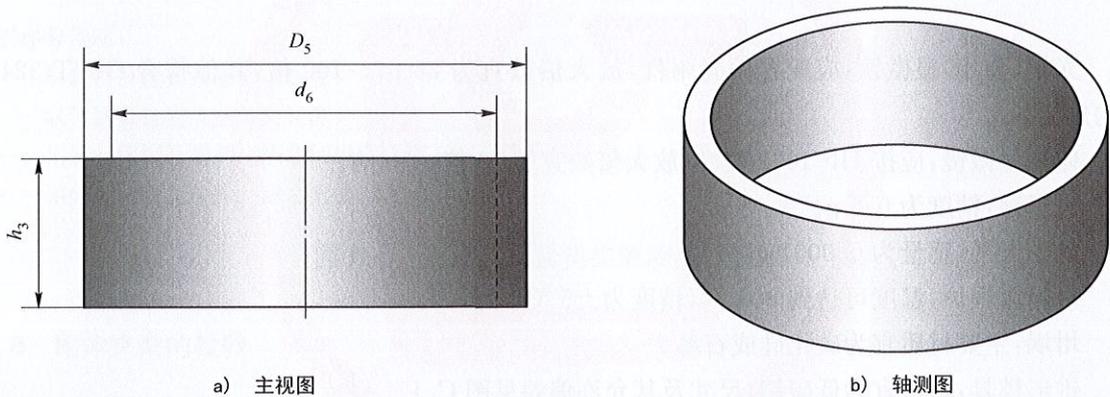
- δ —— 模具厚度；
- D_4 —— 模具上端内径；
- d_5 —— 模具底端内径；
- b_2 —— 模具凹槽宽度；
- h_1 —— 模具底端到模具凹槽高度；
- h_2 —— 模具底端到模具上端高度；
- L_2 —— 模具上端手柄长度。

图 C.1 锥形模具尺寸及其允许偏差

C.2.8 水冷循环设备：水流量为 3.6 L/min~4.0 L/min。锥形钢模模具底部浸入水深为 25 mm。

C.2.9 环形模具：材质宜为低碳钢，用硅酸铝或二氧化硅材质的泡沫砖或纤维砖铺底，尺寸及其允许偏差见图 C.2。

单位为毫米



D_5	d_6	h_3
75 ± 0.5	65 ± 0.5	25 ± 0.5

标引序号说明：

- D_5 —— 模具外径；
- d_6 —— 模具内径；
- h_3 —— 模具高度。

图 C.2 环形模具尺寸及其允许偏差

C.2.10 金相抛光机。

C.2.11 电解抛光及阳极覆膜装置，符合 GB/T 3246.1—2024 的规定。

C.3 材料

C.3.1 铝原料

用电子秤(C.2.3)称取铝原料质量 2.00 kg~10.00 kg，记为 m_{Al} ，铝原料的化学成分应符合表 C.1 的规定。

表 C.1 铝原料化学成分

化学成分(质量分数) %							
Fe	Si	Ti	B	V	其他 ^a		Al
					单个	合计 ^b	
0.15~0.18	0.040~0.050	≤0.005	≤0.0005	≤0.02	≤0.03	≤0.10	余量
^a “其他”指表中未列出的金属元素。 ^b “合计”指不小于 0.010%的“其他”金属元素之和。							

C.3.2 铝钛硼线

用电子天平(C.2.4)称取待测铝钛硼线,精确至 0.0001 g。铝钛硼线的称样量 m 按公式(C.1)计算:

$$m = (m_{Al} - m_1) \times 0.002 \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

m_{Al} ——铝原料的实际质量,单位为克(g);

m_1 ——参比样坯(参比试样)的理论质量,单位为克(g);

0.002 ——铝钛硼线的添加比例。

C.4 试验步骤

C.4.1 水冷锥模法

C.4.1.1 预处理

锥形模具、取样勺应喷涂脱模剂,取样前预热至 310 °C~320 °C。

C.4.1.2 熔炼、铸造

C.4.1.2.1 将铝原料(C.3.1)加入电阻坩埚炉中升温熔化,当铝液温度达 720 °C~730 °C时,撇去表面熔渣,保温 10 min。

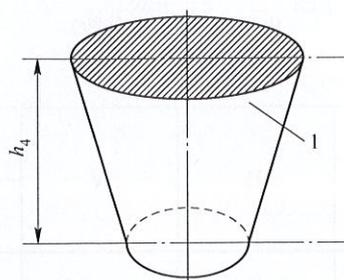
C.4.1.2.2 将锥形模具浸入铝液表面以下,保温 30 s后,从铝液中取出参比样坯,使铝液上表面与模具上沿凹槽平齐。将锥形模具垂直下降到水冷循环设备内,底部浸入水深 25 mm,冷却 2 min。

C.4.1.2.3 在铝液中加入待测铝钛硼线(C.3.2),用石墨棒充分搅拌 25 s~30 s,保温 2 min,取样前搅拌 10 s~20 s,然后按 C.4.1.2.2 取试样样坯。

C.4.1.2.4 参比样坯和试样样坯质量应为 250 g±10 g,不符合时,重新进行取样。

C.4.1.3 试样阳极化制膜或浸蚀

C.4.1.3.1 在参比样坯和试样样坯底面垂直距离 38 mm±0.5 mm 处的横截面截取,截取的横截面为检验面(见图 C.3)。



标引序号说明:

1 —— 检验面;

h_4 —— 参比试样和试样样坯底面到检测面的垂直距离。

图 C.3 水冷锥模法试样检测位置示意图

C.4.1.3.2 对检验面进行阳极化制膜或浸蚀。阳极化制膜按 GB/T 3246.1—2024 进行。浸蚀按 GB/T 3246.2—2012 进行,浸蚀剂采用特强混合酸。

C.4.1.4 晶粒尺寸测量

C.4.1.4.1 在显微镜下观察参比试样的晶粒组织。采用实测法测量不少于 5 个晶粒的最大卡规尺寸,计算其平均值。当参比试样的平均晶粒尺寸 $\geq 3000 \mu\text{m}$ 时,方可测量试样的平均晶粒尺寸。

C.4.1.4.2 在显微镜下观察试样的晶粒组织。在检验面中心直径为 15 mm 的区域,按 GB/T 3246.1—2024 规定的截距法测量试样的平均晶粒尺寸,试样在检测线的总长度上不应少于 100 个相截晶粒。

注 1: 采用阳极化制膜制备的试样(参比试样),在光学(金相)显微镜在偏振光下观察。采用浸蚀制备的试样(参比试样),在体视显微镜下观察。

注 2: 采用光学(金相)显微镜测量参比试样时,放大倍数宜为 25 倍~50 倍。采用体视显微镜测量参比试样时,放大倍数宜为 10 倍~50 倍。采用光学(金相)显微镜或体视显微镜测量试样时,放大倍数宜为 25 倍~100 倍。

C.4.2 空冷环模法

C.4.2.1 预处理

将环形模具、取样勺喷涂脱模剂。模底砖应平滑、干燥、无尘。模具温度宜为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.4.2.2 熔炼、铸造

C.4.2.2.1 将铝原料(C.3.1)加入电阻坩埚炉中升温熔化,当铝液温度达 $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $730\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,撇去表面熔渣,保温 10 min。

C.4.2.2.2 将环形模具平放于模底砖上。将铝液浇入环形模具内,室温下自然冷却,得到参比试样。

C.4.2.2.3 在铝液中加入待测铝钛硼线(C.3.2),用石墨棒充分搅拌 25 s~30 s,保温 2 min,取样前搅拌 10 s~20 s,然后按 C.4.2.2.2 取试样。

C.4.2.2.4 参比试样和试样质量为 $200\text{ g} \pm 10\text{ g}$,不符合时,重新进行取样。

C.4.2.3 试样阳极化制膜或浸蚀

C.4.2.3.1 试样在模底砖上的凝固表面为检验面。

C.4.2.3.2 按 C.4.1.3.2 对检验面进行阳极化制膜或浸蚀。

C.4.2.4 晶粒尺寸测量

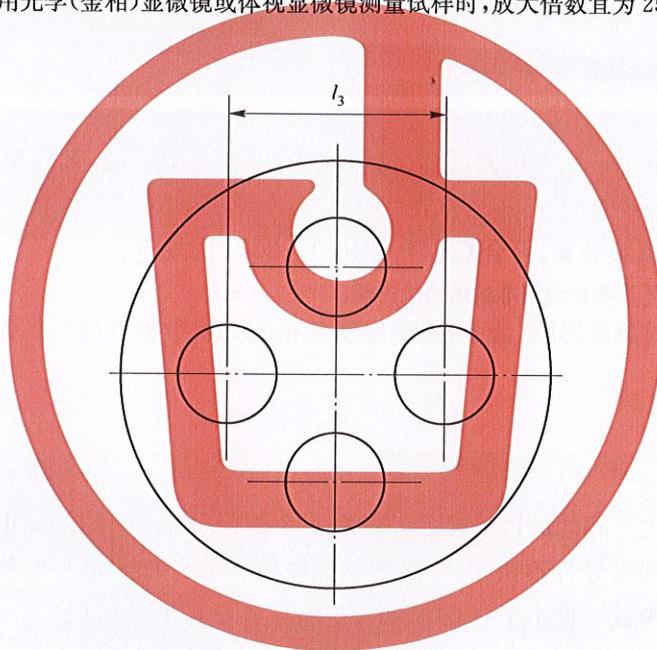
C.4.2.4.1 按 C.4.1.4.1 对参比试样的平均晶粒尺寸进行测量。当参比试样平均晶粒尺寸 $\geq 3000\ \mu\text{m}$ 时,方可测量试样的平均晶粒尺寸。

C.4.2.4.2 在显微镜下观察试样的晶粒组织。在试样半径 1/2 处直径 15 mm 的区域,按 GB/T 3246.1—2024 规定的截距法测量试样的平均晶粒尺寸,每个试样至少检测 4 个位置(见图 C.4),两个对称测量位置的中心间距为 32.5 mm,4 个位置均匀分布,计算其平均值。试样在检测线的总长度上不应少于 100 个相截晶粒。

注 1: 采用阳极化制膜制备的试样(参比试样),在光学(金相)显微镜在偏振光下观察。采用浸蚀制备的试样(参比试样),在体视显微镜下观察。

注 2: 采用光学(金相)显微镜测量参比试样时,放大倍数宜为 25 倍~50 倍。采用体视显微镜测量参比试样时,放大倍数宜为 10 倍~50 倍。采用光学(金相)显微镜或体视显微镜测量试样时,放大倍数宜为 25 倍~100 倍。

单位为毫米



标引序号说明:

l_3 ——两个对称测量位置的中心间距。

图 C.4 空冷环模法试样表面检测位置示意图

附录 D
(资料性)
晶粒细化效率试验方法

D.1 方法概述

在同一的生产线上分别投入Ⅰ级与Ⅱ级铝钛硼线生产相同产品,Ⅰ级铝钛硼线的用量为Ⅱ级铝钛硼线的1/2,生产工艺相同时比对Ⅰ级与Ⅱ级铝钛硼线的晶粒细化效果。

D.2 设备

D.2.1 熔炼炉。

D.2.2 喂丝机。

D.2.3 铸造机。

D.2.4 光学(金相)显微镜:配备偏光镜,放大倍数宜为25倍~100倍,其他符合GB/T 3246.1—2024的规定。

D.2.5 电解抛光及阳极覆膜装置,符合GB/T 3246.1—2024的规定。

注:宜选用设备成熟、工艺参数控制精准的熔铸生产线。

D.3 试验步骤**D.3.1 熔铸铸锭样品**

选择10个熔次连续生产相同的铸锭产品。各取5个熔次分别使用Ⅰ级、Ⅱ级铝钛硼线进行晶粒细化,各熔次采用的铝钛硼线批号各不相同,Ⅰ级铝钛硼线使用量为Ⅱ级的1/2,使用Ⅰ级铝钛硼线生产铸锭时,炉前成分分析结果中钛含量小于0.010%时,应将钛含量补足至0.010%~0.015%(需方有特殊要求除外),铸锭其他生产工艺完全相同。

D.3.2 切取样坯

D.3.2.1 圆铸锭按照YS/T 67的规定切去头尾后,在铸锭浇口部位切取厚度为20 mm~25 mm的低倍试片,在试片半径1/2处按GB/T 3246.1—2024的规定切取1个金相样坯。

D.3.2.2 扁铸锭按照YS/T 590的规定切去头尾后,在铸锭浇口部位切取厚度为20 mm~25 mm的低倍试片,在试片宽度1/4、长度1/2处按GB/T 3246.1—2024的规定切取1个金相样坯。

D.3.3 制备试样

将金相样坯按照GB/T 3246.1—2024的规定依次进行机械磨制、电解抛光、阳极化制膜。

D.3.4 晶粒尺寸测定

按照GB/T 3246.1—2024规定的截距法测定试样的平均晶粒尺寸(6063合金圆铸锭典型晶粒组织见图D.1~图D.10),并记录(见表D.1),分别挑出Ⅰ级、Ⅱ级铝钛硼线生产的5个熔次铸锭试样平均晶粒尺寸的最大值(其试样晶粒形貌见图D.4、图D.9)。

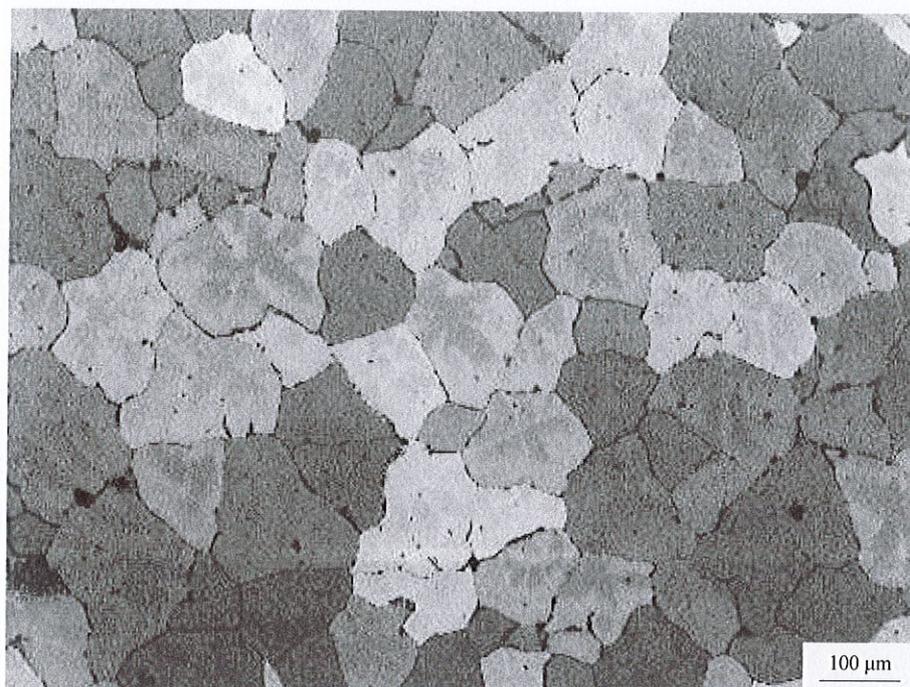


图 D.1 晶粒尺寸为 89 μm 的组织示例 (I 级, 阳极制膜偏光)

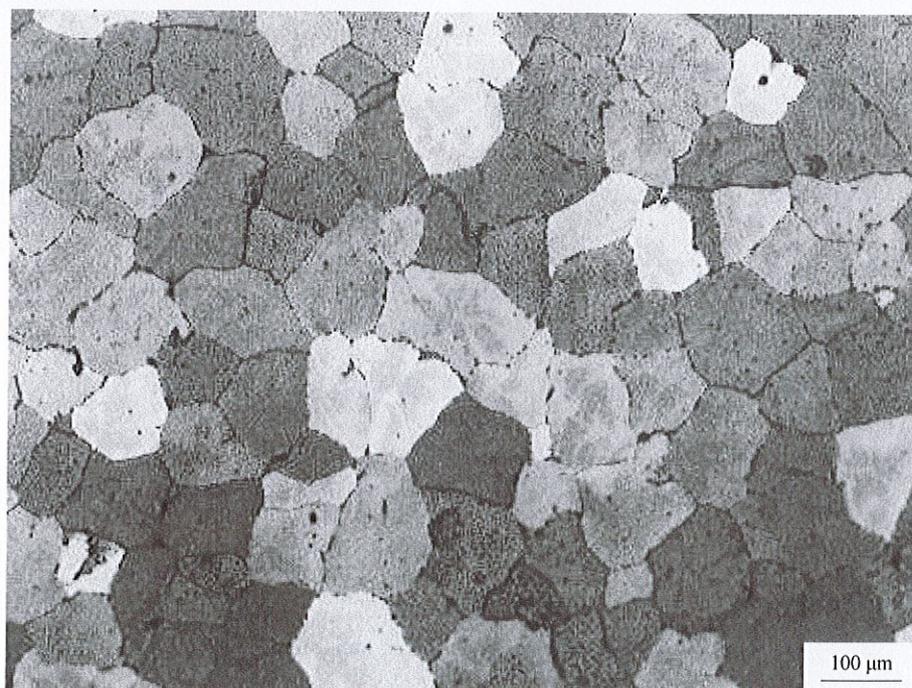


图 D.2 晶粒尺寸为 84 μm 的组织示例 (I 级, 阳极制膜偏光)

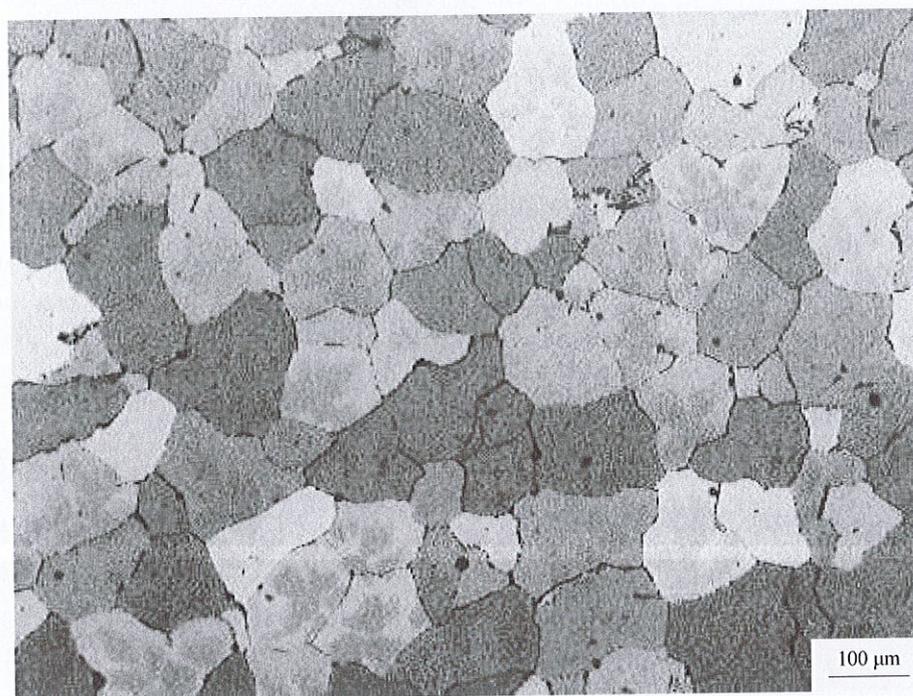


图 D.3 晶粒尺寸为 95 μm 的组织示例 (I 级, 阳极制膜偏光)



图 D.4 晶粒尺寸为 97 μm 的组织示例 (I 级, 阳极制膜偏光)

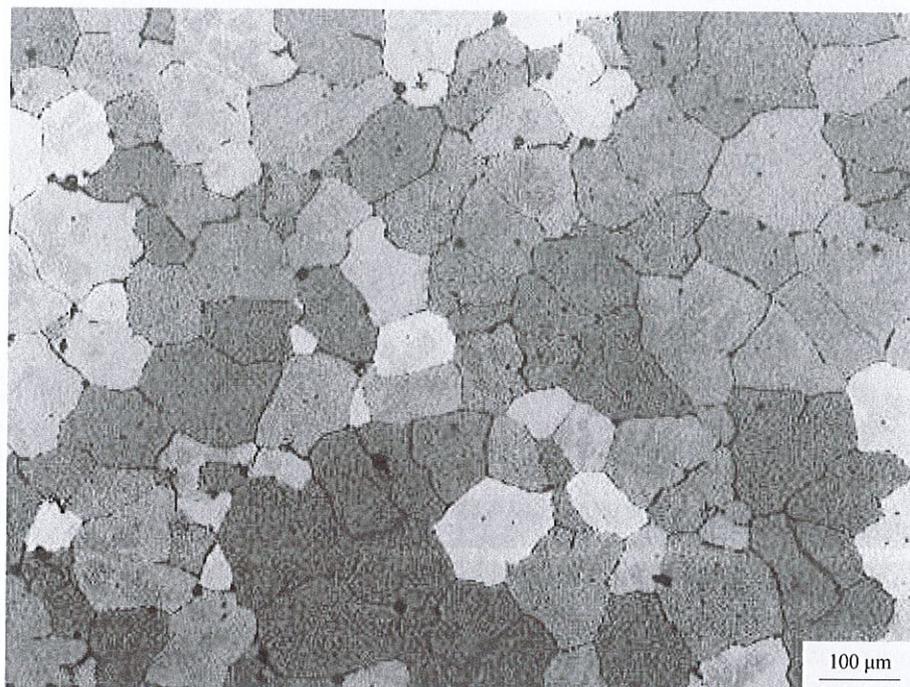


图 D.5 晶粒尺寸为 91 μm 的组织示例 (I 级, 阳极制膜偏光)



图 D.6 晶粒尺寸为 94 μm 的组织示例 (II 级, 阳极制膜偏光)

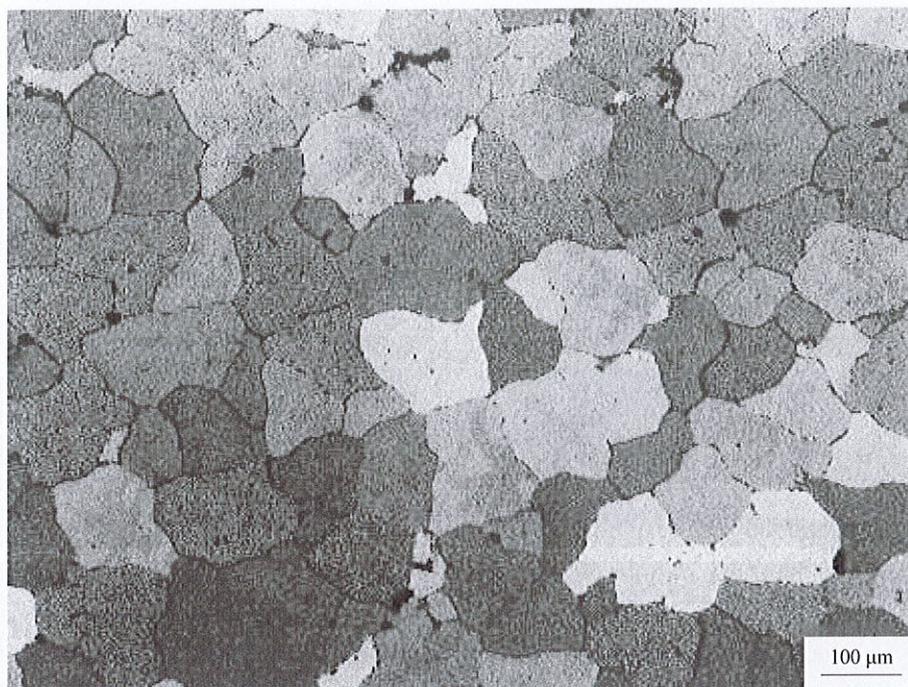


图 D.7 晶粒尺寸为 85 μm 的组织示例(Ⅱ级,阳极制膜偏光)

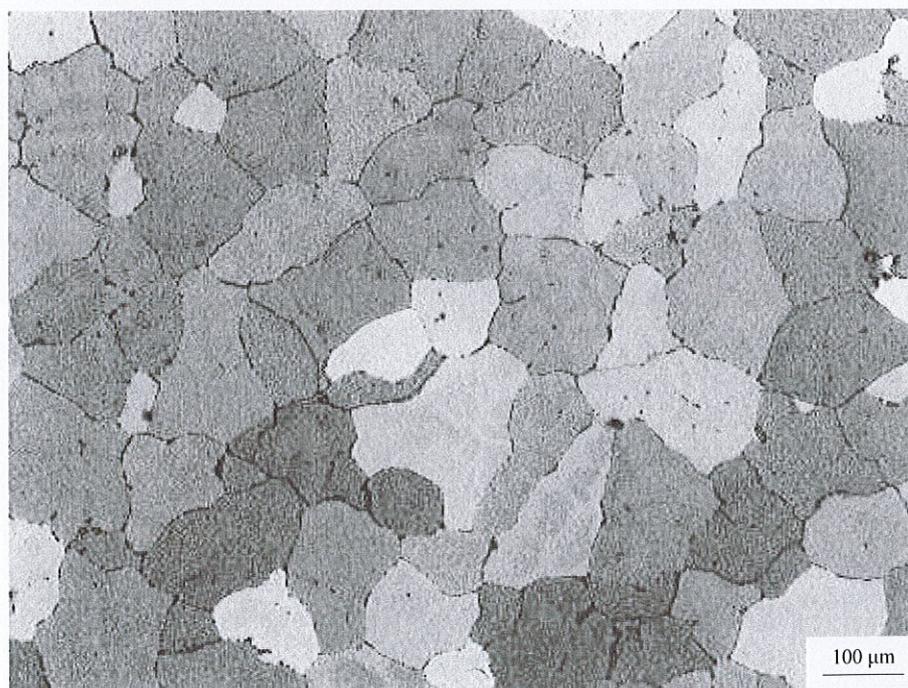


图 D.8 晶粒尺寸为 102 μm 的组织示例(Ⅱ级,阳极制膜偏光)

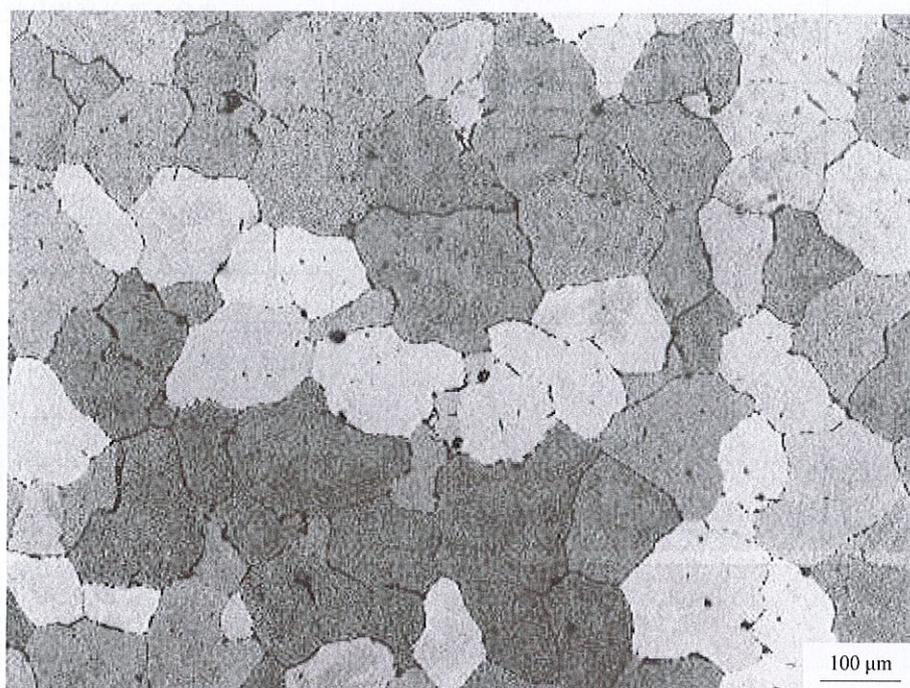


图 D.9 晶粒尺寸为 108 μm 的组织示例(Ⅱ级,阳极制膜偏光)

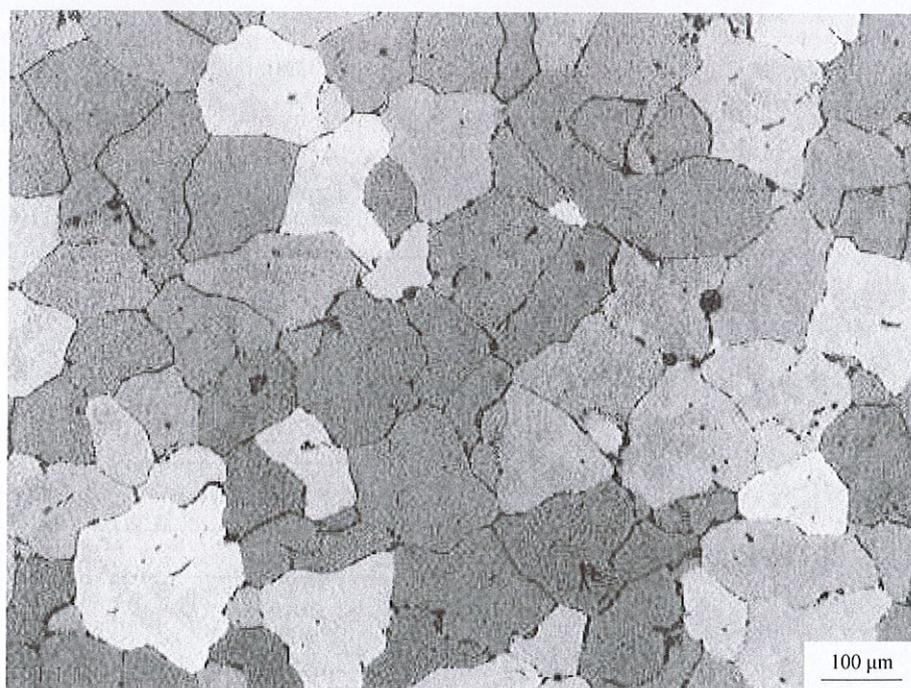


图 D.10 晶粒尺寸为 98 μm 的组织示例(Ⅱ级,阳极制膜偏光)

表 D.1 6063 合金 $\phi 405$ mm 圆铸锭晶粒尺寸测定结果

熔次号	晶粒细化剂等级及其加入量	半径 1/2 处平均晶粒尺寸 μm
1	I 级, 1.0 kg/t	89
2		84
3		95
4		97
5		91
6	II 级, 2.0 kg/t	94
7		85
8		102
9		108
10		98

D.4 结果评定

对比使用 I 级、II 级铝钛硼线生产的铸锭试样平均晶粒尺寸最大值, I 级不大于 II 级时, 判定 I 级铝钛硼线晶粒细化效率合格, 否则为不合格。

附录 E
(资料性)
产品合格鉴定

E.1 产品合格鉴定流程

产品合格鉴定流程为：工艺研究→工艺稳定性正式验证→产品批量供货。产品合格鉴定流程图见图 E.1。

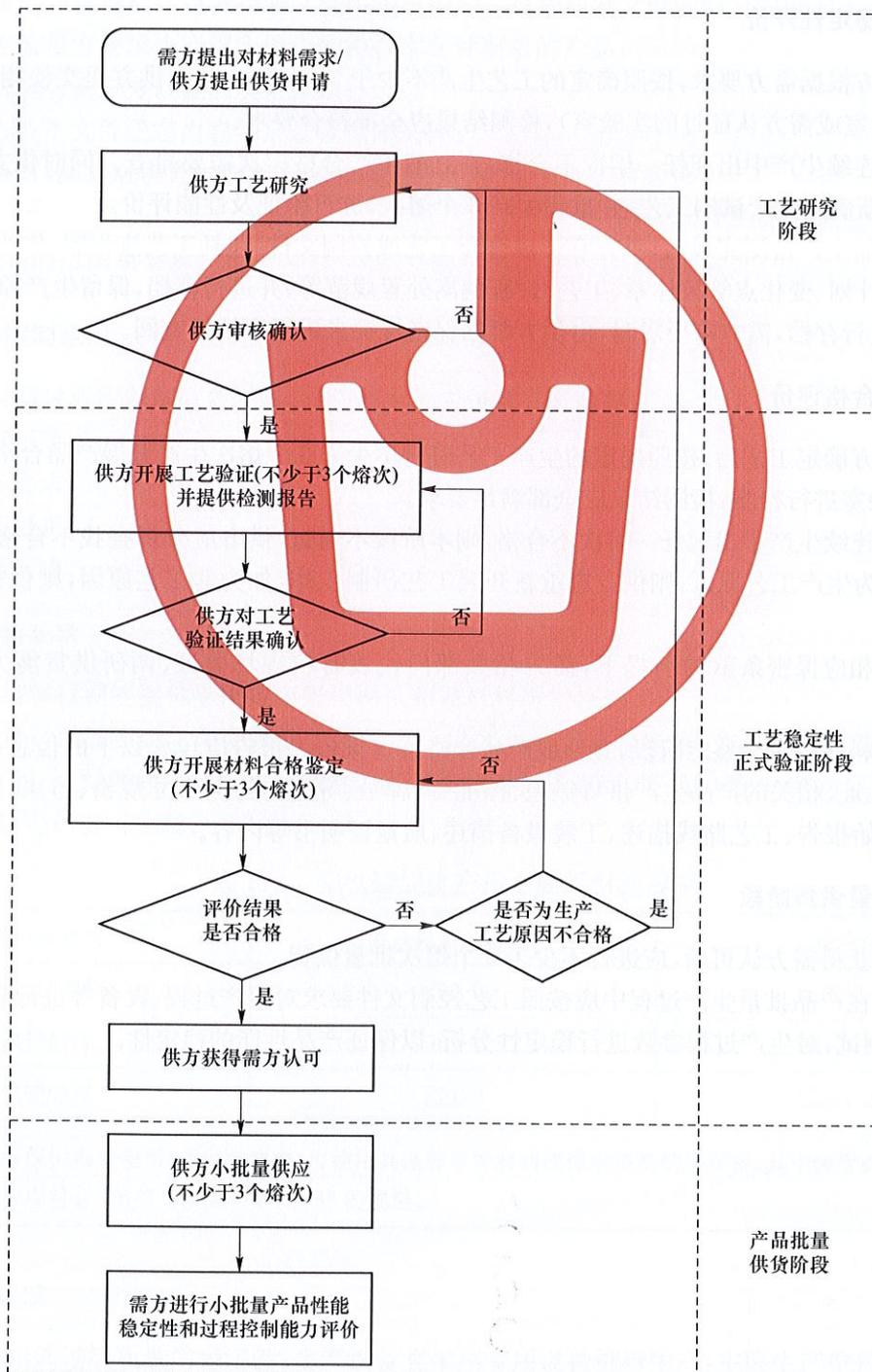


图 E.1 产品合格鉴定流程图

E.2 产品合格鉴定要求

E.2.1 工艺研究阶段

供方根据需求对产品进行工艺研究,并按照标准或需方要求验证工艺的合理性。当供方有应用于高端产品(如航空产品、高铁产品、阳极氧化材料、双零铝箔产品等)的供货经验时,可直接进入下一阶段。

E.2.2 工艺稳定性正式验证阶段

E.2.2.1 工艺稳定性评价

E.2.2.1.1 供方根据需方要求,按照确定的工艺生产不少于3个熔次,并由供方提交检测报告(需具备相应资质的实验室或需方认证过的实验室),检测结果应全部符合要求。

E.2.2.1.2 若连续生产中出现任一熔次不合格,则之前生产合格熔次需要排查。同时供方应分析查找不合格原因,重新确定生产试制工艺,并重新生产3个熔次,进行验证及性能评价。

E.2.2.1.3 产品生产检测完成后,供方宜形成全套工艺或控制文件(包括工艺流程图、作业指导书、产品失效分析、控制计划、变化点管控体系、工艺/过程偏离处置规范等)并进行存档,保留生产原始记录、检测报告等记录并进行存档,需方有要求时,由供方根据保密性要求进行审核后查阅。

E.2.2.2 产品合格评价

E.2.2.2.1 供方确定工艺后,按照确定的生产工艺进行不少于3个熔次生产开展产品合格评价,并提交需方认可的实验室进行检测,检测结果应全部满足要求。

E.2.2.2.2 若连续生产中出现任一熔次不合格,则本阶段不通过,供方应分析查找不合格原因,并向需方进行汇报,如为生产工艺原因,则供方应重新开展工艺研制工作,如为非工艺原因,则供方应重新组织合格鉴定。

E.2.2.2.3 在相应保密条款的前提下,需方相关部门代表有权现场验证、调研供货能力验证的各个过程。

E.2.2.2.4 材料通过合格鉴定阶段,宜形成产品合格鉴定报告。报告应包含以下的信息:项目名称、生产商的名字和地址、相关的产品生产供货经验、标准号、牌号、等级、类别、尺寸规格、熔次、检验项目及检验结果、检验原始报告、工艺路线描述、工装设备描述、质量证明书等内容。

E.2.3 产品批量供货阶段

E.2.3.1 供方获得需方认可后,应进行不少于3个熔次批量供货。

E.2.3.2 供方在产品批量生产过程中应按照工艺控制文件要求对生产过程、设备等进行监控,并定期对设备进行相关测试,对生产过程参数进行稳定性分析,以保证产品性能的稳定性。

附录 F (资料性) 过程控制

F.1 过程控制文件的制定程序

供方应按照本文件规定的生产控制要求编制过程控制文件,为保证产品质量的稳定性,与本产品生产及生产相关的要求均应在过程控制文件中做出规定。过程控制文件的制定程序如下:

- a) 供方按需方要求生产规定熔次的符合本文件要求的产品;
- b) 供方具有第三方认证的质量体系;
- c) 供方按本文件规定内容制定过程控制文件;
- d) 必要时,需方对供方过程控制文件进行审核,确认文件的有效性。

F.2 过程控制的范围及要求

F.2.1 过程控制范围

为保证材料过程控制的有效性,过程控制文件应包括以下内容:

- a) 原材料要求;
- b) 设备要求;
- c) 工艺要求;
- d) 性能要求。

F.2.2 原材料要求

F.2.2.1 原材料过程控制包括供应商资格确认和原材料质量控制。

F.2.2.2 原材料最低等级应符合表 F.1 的规定。供方生产工艺稳定后,未经需方批准,不允许更换原材料的供货厂家、原材料牌号。若有特殊原因需更换原材料供应商,应通知需方,并对原材料性能进行全面测试,需方认可后方可交货。

表 F.1 铝钛硼线生产用主要原材料要求

原材料种类	原材料典型牌号 ^a	符合标准
重熔用铝锭	Al99.70	GB/T 1196
氟钛酸钾	PFT-2	GB/T 22668
氟硼酸钾	PFB-2	GB/T 22667

^a 典型牌号仅供参考使用,非限定要求,可使用其他牌号原材料或纯度更高的原材料,其中纯度更高的铝锭牌号和化学成分应符合 YS/T 275 及 YS/T 665 的规定。

F.2.3 设备要求

为了保证铝钛硼线质量的稳定性,生产设备宜采用专用设备进行生产,主要生产设备的工艺用途、精度及检验周期的要求见表 F.2,以对设备进行定期检验,保证产品性能的稳定性。

表 F.2 铝钛硼线主要生产设备的要求

主要生产设备	工艺用途	精 度	检验周期
熔铝炉	铝锭熔化	铝熔体温度控制精度为 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	≤ 1 年
反应炉/包	铝钛硼产品合金化	铝熔体温度控制精度为 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	≤ 1 年
精炼炉/包	铝钛硼合金精炼	铝熔体温度控制精度为 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	≤ 1 年
铸轧/挤压机	铸轧/挤压铝钛硼线	轧制/挤压铝钛硼线直径精度为 $\pm 0.3\text{ mm}$	≤ 1 天

F.2.4 工艺要求

F.2.4.1 铝钛硼线生产工艺分为工艺研究阶段、工艺稳定性正式验证阶段、产品批量供货阶段，以上三个阶段的工艺需保证完全一致。

F.2.4.2 稳定供货后的关键工序特殊过程(包括加料、合金化和铸造过程)不允许修改,需要更改时,由供需双方研究重新确定。

F.2.4.3 铝钛硼线生产应制定专项的工艺指导文件、过程控制文件及作业指导文件。

F.2.4.4 铝钛硼线主要工艺参数控制要求应符合表 F.3 的规定。

表 F.3 铝钛硼线主要受控工艺参数

主要工序	主要工艺	监控频次	监控记录
熔铝	熔铝温度	实时	电脑数据或记录纸
	熔铝时间	每炉/实时	电脑数据或记录纸
加料	加料温度	每炉/实时	电脑数据或记录纸
	加料时间	每炉/实时	电脑数据或记录纸
合金化	合金化温度	每炉/实时	电脑数据或记录纸
	合金化时间	每炉/实时	电脑数据或记录纸
精炼	精炼温度	每炉/实时	电脑数据或记录纸
	精炼时间	每炉/实时	电脑数据或记录纸
铸造	铸造温度	实时	电脑数据或记录纸
	铸造速度	实时	电脑数据或记录纸
轧制/挤压	轧制/挤压温度	每炉/实时	电脑数据或记录纸

F.2.5 性能要求

供方宜检测铝钛硼线的化学成分、尺寸偏差、力学性能、显微组织、晶粒细化能力、接头和外观质量。

F.3 过程控制文件要求

F.3.1 过程控制文件内容

过程控制文件宜包含下列内容:

- a) 工艺流程图;
- b) 作业指导书;
- c) 产品失效分析、控制计划;

- d) 变更管控程序;
- e) 工艺/过程偏离处置规范。

F.3.2 过程控制文件保存及更改要求

过程控制文件保存及更改要求如下:

- a) 过程控制文件各版本文件及更改单至少应保存 5 年以上;
- b) 对于对产品存在质量影响的重大更改,由供需双方协商后更改。

F.4 过程偏离要求

生产过程不符合工艺文件要求时发生的偏离称为过程偏离。发生过程偏离后,宜按图 F.1 列出的流程进行处理。当需方有要求时,由供方组织编制偏离申请及相关资料,提交需方进行批准。

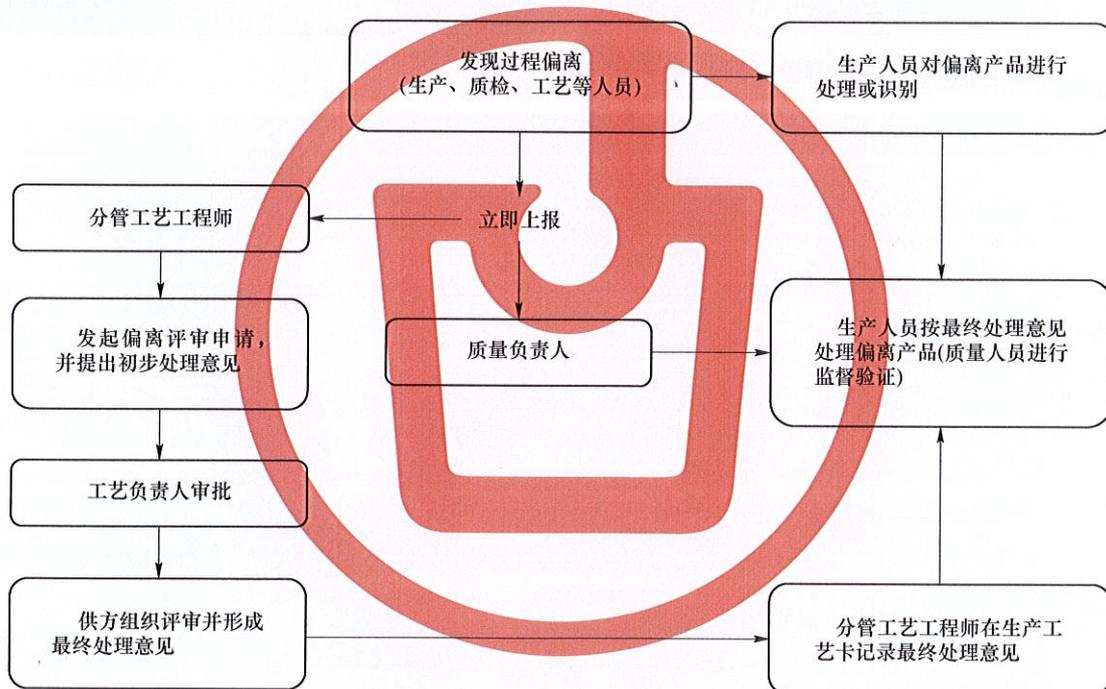
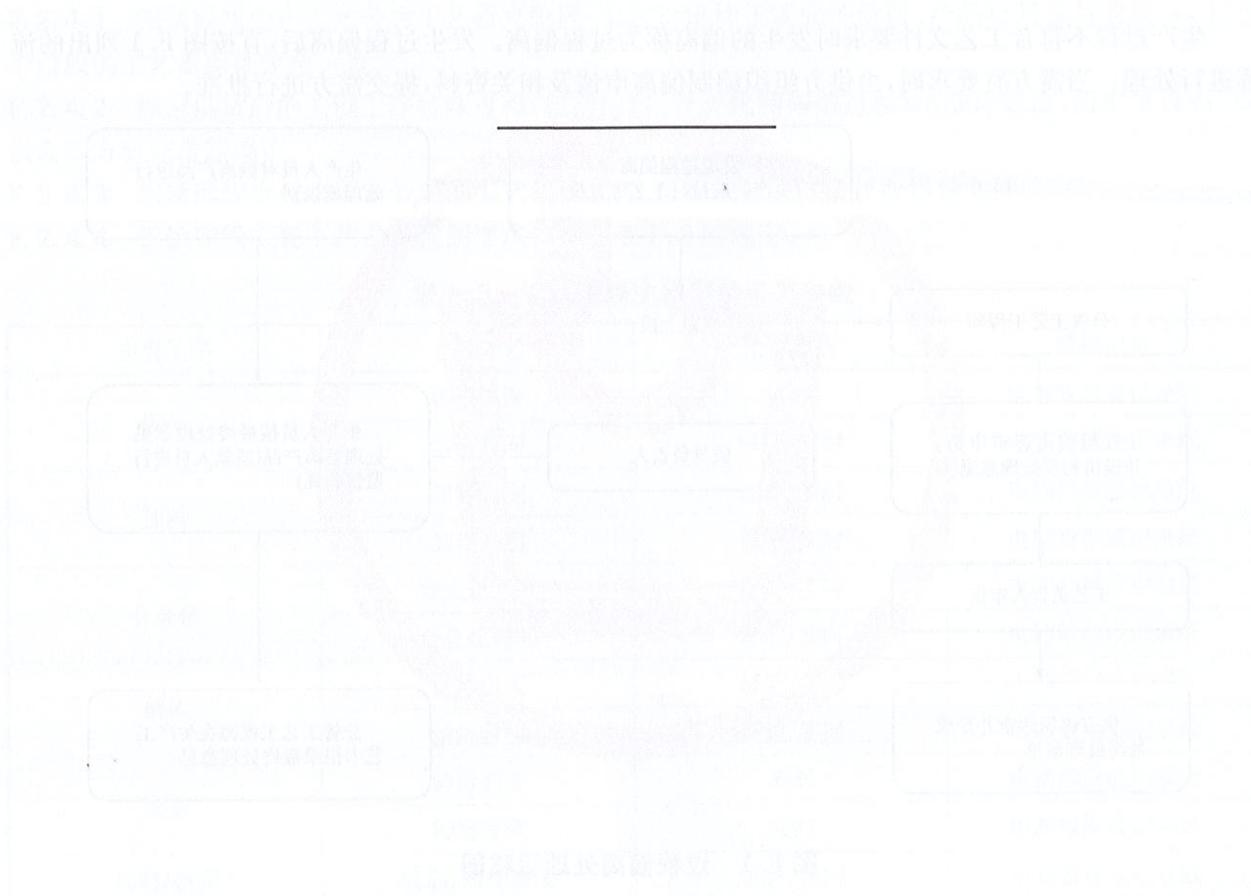


图 F.1 过程偏离处理流程图

参 考 文 献

- [1] GB/T 1196 重熔用铝锭
- [2] GB/T 22667 氟硼酸钾
- [3] GB/T 22668 氟钛酸钾
- [4] GB/T 27677 铝中间合金
- [5] YS/T 275 高纯铝锭
- [6] YS/T 665 重熔用精铝锭



中华人民共和国有色金属
行业标准
铝及铝合金晶粒细化用合金线材
第1部分：铝-钛-硼合金线材
YS/T 447.1—2023

*

冶金工业出版社出版发行
北京市东城区嵩祝院北巷39号
邮政编码：100009

北京捷迅佳彩印刷有限公司印刷
冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

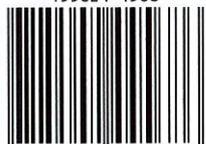
*

开本 880×1230 1/16 印张 3.25 字数 97千字
2024年6月第一版 2024年6月第一次印刷

*

统一书号：155024·4568 定价：125.00元

155024·4568



9 715502 445686 >