

团体标准

二硼化镁超导线材

(MgB₂ superconducting wires)

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国材料研究学会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由中国材料研究学会提出。

本标准由中国材料研究学会标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：西部超导材料科技股份有限公司、西北有色金属研究院、西安聚能医工科技有限公司、西北工业大学、西安聚能超导磁体科技有限公司

本标准主要起草人：

二硼化镁超导线材

1 范围

本文件规定了二硼化镁高温超导线材的要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输和贮存、质量证明书、订货单（或合同）内容等。

本文件适用于采用原位粉末装管法 (*in-situ* PIT) 制备的二硼化镁多芯超导线材。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过对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 228.1 金属材料 拉伸试验第 1 部分：室温试验方法

GB/T 2900.100 电工术语 超导电性

GB/T 18502 临界电流测量 银和/或银合金包套 Bi-2212 和 Bi-2223 氧化物超导体的直流临界电流

GB/T 31527 力学性能测量 NbTi/Cu 复合超导线室温拉伸试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高温超导体 high temperature superconductor

通常指临界温度高于约 25 K 的超导体。

[来源：GB/T 2900.100-2017，2.2]

3.2

二硼化镁 Magnesium diboride (MgB_2)

一种由 Mg 和 B 组成的化合物超导体，其超导电性于 2001 年由日本科学家首次发现。

3.3

粉末装管法 Powder in tube method (PIT)

以混合粉末装入套管为起始，制备超导线材的工艺。

3.4

原位法 *in-situ* process

将 Mg 粉、B 粉和（或）掺杂粉末按照一定的化学计量比混合均匀，并填装到包套管中制备 MgB_2 超导线材的一种工艺。

3.5

线材 wire

长度远大于其横截面尺度的物体。

注：术语“线材”通常不用于导电带材。

3.6

超导线 superconducting wire

用超导体传导电流的导线。

3.7

超导芯丝 superconducting filament

非常细长的超导体或复合超导线中的超导材料。

3.8

稳定材料 stabilizer

与超导体有电或热的接触或两者兼有的材料，一般是金属材料。它可使超导体与冷剂之间有良好的热接触或可起分流作用，或两种作用兼备。在 MgB_2 超导导线中通常用 Cu 作为稳定材料。

3.9

多芯超导线 multi-filamentary superconducting wire

有一根以上丝或丝状超导体嵌埋在常导材料中的复合超导线。

3.10

二硼化镁生线 MgB_2 green wire

经轧制、拉拔等冷塑性加工手段加工到最终尺寸，但未经成相热处理的二硼化镁线材。

4 要求

4.1 产品分类

4.1.1 牌号、状态、规格

产品的牌号、状态和规格应符合表 1 的规定。

表 1 MgB_2 超导线材牌号、状态和规格

牌号	状态	规格 mm	长度 m
<i>In-situ</i> PIT MgB_2	加工态线材	$\Phi 0.8\sim\Phi 2$	500~2000

注 1：经供需协商，可供应超出表中规格的线材。

4.1.2 标记示例

产品标记按产品名称、牌号、状态、规格、标准编号的顺序表示。标记示例如下：

用原位法粉末状管工艺制造的 MgB_2 超导线，生线，直径 1 mm、长度 1000 m 的圆线标记为：MB-P $\phi 1\times 1000$ Q/NIN 1928-2022。

4.2 相组成

产品的相组成应符合表 2 的规定。

表 2 超导线材的相组成

体积分数%

超导芯丝	扩散阻隔层	稳定材料	外包套材料
MgB ₂	Nb	Cu	Monel
12~18	15~25	25~35	35~45

4.3 尺寸和尺寸允许偏差

4.3.1 产品以冷加工态二硼化镁生线交货，也可根据需要提供热处理后的 MgB₂ 超导线材。

4.3.2 线材的直径允许偏差应符合表 3 的规定。

表 3 产品的直径允许偏差

单位为毫米

规格	直径	
	基本尺寸	允许偏差
0.8	0.8	±0.02
1.0	1.0	±0.02
1.4	1.4	±0.02

4.4 力学性能

4.4.1 线材的力学性能根据提供样品的状态分别从二硼化镁生线和热处理后的超导线材上取样进行测试，试样推荐的热处理制度 600 °C~650 °C，保温 1 h~3 h，炉冷。

4.4.2 棒材纵向室温力学性能应符合表 4 规定。

表 4 MgB₂ 超导线材的室温力学性能

状态	抗拉强度 R _m /MPa	规定非比例延伸强度 R _{p0.2} /MPa	延伸率 A/%	断面收缩率 Z/%
MgB ₂ 生线	750~950	650~850	≥1	≥5
MgB ₂ 超导线	≥350	≥200	≥8	≥15

4.5 低倍组织

线材的纵向低倍组织中不允许有断芯现象，且超导芯丝中 Mg-B 混合粉体（或 MgB₂ 超导相）均匀、连续，无明显竹节状现象。

4.6 超导传输性能

对于热处理成相后的 MgB₂ 超导线材，采用四引线法进行超导传输性能测试，线材的临界电流密度 J_c 性能在 4.2 K、4 T 时应大于 1500 A/mm²。

4.7 外观质量

- 4.7.1 线材表面不应有裂纹、折叠、竹节状等肉眼可见的缺陷。
- 4.7.2 产品表面允许存在不大于尺寸偏差之内的轻微划痕、压痕及轻微氧化等缺陷。

5 试验方法

5.1 相组成

产品的相组成可根据线材样品的横断面金相并结合相关矢量分析软件获得，同时分析计算各相的体积百分比。

5.2 尺寸偏差

线材的尺寸偏差检验用千分尺量具进行检测。

5.3 力学性能检验方法

线材的室温拉伸试验参照 GB/T 228.1 和 GB/T 31527 进行。

5.4 低倍组织

线材低倍组织的检验方法按合同或协议规定执行。

5.5 超导传输性能

线材的超导传输性能参照 GB/T 18502 进行。

5.6 外观质量检验方法

产品外观质量采用目视检验。

6 检验规则

6.1 检查与验收

6.1.1 产品应由供方质量检验部门进行检验，保证产品质量符合本标准或合同的规定，并填写质量证明书/质量说明书。

6.1.2 需方可对收到的产品按本标准的规定进行验收。如检验结果与本标准规定不符时，应在收到产品之日起三个月内向供方提出，由供需双方协商解决。如需仲裁，仲裁取样由供需双方共同进行。

6.2 组批

线材应成批提交检验，每批应由同一生产周期制造的、同一工艺、同一规格和状态的线材组成。

6.3 检验项目

每批线材应进行相组成、室温力学性能、尺寸偏差、低倍组织、超导传输性能和外观质量

的检验。如合同中有要求时，还应进行显微组织检验。

6.4 取样位置和取样数量

产品的取样应符合表 4 的规定。

表 4 检验项目和取样规定

检验项目	取样规定	要求的章条号	试验方法章节号
相组成	每根长线的前、后两端分别进行取样，前端取样时应确保完全去除拉拔加工过程中的夹口延伸部位，取样长度 2 cm~3 cm 进行横截面金相分析。	4.2	5.1
尺寸偏差	每根长线不同位置至少 5 点进行检测。	4.3	5.2
力学性能	每根长线的尾端取样，取样长度 20 cm~30 cm。	4.4	5.3
低倍组织	每根长线的尾端取 2 cm~3 cm 进行纵截面低倍组织分析。	4.5	5.4
传输性能	每根长线的尾端取样热处理后进行传输性能测试。	4.6	5.5
外观质量	逐根检验。	4.7	5.6

6.5 检验结果的判定

6.5.1 线材相组成检验结果不合格时，取双倍试样对不合格项目进行复验，若仍有一个试样不合格，则该批产品不合格。

6.5.2 线材尺寸允许偏差、外观质量不合格时，判单根不合格，但允许供方切除不合格部分后重新检验，合格者交货。

6.5.3 当力学性能检验结果中有试样不合格时，应逐根（包括原检验不合格的线材）取双倍数量的试样对该项目进行重复试验，试验结果全部合格，则该批线材合格，若仍有一个结果不合格，则判该批线材不合格，但允许供方对其余线材逐根检验，合格者交货。

6.5.4 低倍组织试样中出现肉眼可见的断芯现象时，该批产品不合格。

6.5.5 当线材传输性能检验结果不合格时，取双倍试样热处理后进行传输性能测试，若仍有一个试样不合格，则该批产品不合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

7.1.1 在合格的产品上应打印或贴上如下标志或标签：

- a) 产品名称、牌号；
- b) 供应状态、规格；
- c) 批号。

7.1.2 产品的包装箱上应注明：

- a) 供方名称；
- b) 产品名称和牌号；
- c) 规格；
- d) 数量。

7.1.3 运输标志

在包装箱上还应标画“勿倒置”、“防潮湿”、“防碰撞”字样。

7.2 包装、运输和贮存

产品用包装纸包装，放在木箱或木托瓦楞纸箱中运输。

7.3 质量证明书

合同要求时，每批棒材产品应附有产品质量证明书，说明：

- a) 供方名称；
- b) 产品名称；
- c) 产品牌号、规格和状态；
- d) 产品批号、件数；
- e) 所规定的各项分析、检验结果及检验部门的印记；
- f) 本文件编号；
- g) 包装（入库）日期。

8 订货单（或合同）内容

订购本标准所列产品的订货单（或合同）应包括以下内容：

- a) 产品名称、牌号；
 - b) 状态、规格、数量；
 - c) 本标准编号；
 - d) 其他。
-