**《超导线材用铜槽线》行业标准**

**（讨论稿）编制说明**

一、工作简况

1.1任务来源

根据工信厅科[2023]18号和有色标委[2023]51号《关于转发2023年第二批有色金属行业标准制（修）订项目计划及征集起草单位的通知》，其中项目计划号“2023-0076T-YS”《超导线材用铜槽线》行业标准由西部超导材料科技股份有限公司等单位负责起草，完成年限2025年4月。

1.2立项目的和意义

根据“十四五原材料工业发展规划”第三章“促进产业供给高端化”的第三节“突破关键材料”和第四节“提高产品质量”，明确指出坚持材料先行和需求牵引并重，聚焦国防建设、民生短板和制造强国建设重大需求，滚动制定关键材料产品目录，制定发布技术路线图，其中提到发展超导材料、智能仿生、增材制造材料等，推动新的主干材料体系化发展，强化应用领域的支持和引导，同时强调加强质量管理和过程管控，持续开展原材料工业质量提升行动，提高产品质量的稳定性、可靠性和适用性，推广先进成型和加工方法、在线检测、智能制造等，建立满足应用需求的生产过程控制及质量管控体系。

Magnetic Resonance Imaging（MRI）用超导线材用铜槽线由于其剩余电阻比(RRR)高、加工尺寸精度高、强度大、单根长度长、尺寸稳定性高、清洁度要求高等特点，国内超导线材用铜槽线一直被国外垄断，主要依赖从德国Lebronze进口，供应商单一，存在供不应求、质量不稳定等风险。经过多年使用发现，进口铜槽线长期存在表面油污较多、槽内铜粉堆积、铜槽变形等影响超导线材质量的致命缺陷，严重影响WIC超导线材产品质量，降低超导线材成品率。除铜槽线本身质量不稳定外，WIC超导线材竞争对手Bruker EAS通过与德国Lebronze签订长期框架协议，限制铜槽线对中国的出口产量，严重制约了国内MRI用超导线材的发展，影响了人民对MRI医疗器械的迫切需求，因此急需开发国内合格的超导线材用铜槽线供应商，解决铜槽线依赖国外进口、卡脖子等问题，彻底实现WIC超导线材国产化，但开发制备超导线材用铜槽线，急需解决高RRR值铜杆原材料供应、整体加工工艺路线探索、机械加工尺寸精度、异型材涡流探伤、表面超声清洗等技术难点。基于以上原因，目前面临的首要任务就是建立超导线材用铜槽线行业标准，通过标准的制定规范铜槽线产品生产质量的稳定性。

1.3主要参加单位和工作成员所作的工作

（1）项目编制组

标准制订计划任务正式下达后，立即成立了标准编制组，并落实起草任务，确定标准的主要起草人，拟定该标准的工作计划。具体分工为：西部超导材料科技股份有限公司总负责，广东中实金属有限公司、西安汉唐分析检测有限公司、西北有色金属研究院负责信息收集、资料汇总，编制组分工明确，紧密合作，共同完成标准的修订工作。

（2）编制单位技术基础

西部超导材料科技股份有限公司是国内领先、国际先进的超导材料、超导磁体创新研发生产企业，公司坚持“服务国家，造福人类”的企业宗旨，坚持自主创新，坚持高质量发展，瞄准国家重大领域需求，形成了超导锭棒、线材、磁体的全流程生产基地，公司产品定位于“国内空白、国际先进”，主要产品均服务于国家战略关键用途。西部超导代表国家为国际热核聚变反应堆项目研发并批量生产了超导线材、为中国聚变堆工程堆建设提供超导线材，实现了医用核磁共振人体成像仪用超导线材的全面商用和国产化，同时西部超导是全系列高品质单晶硅用超导磁体的设计生产制造商，典型产品应用于能源、医疗、科研等关键领域，填补了多项国内空白。目前，西部超导具备年产1500t超导线材的能力， 其中主型产品WIC超导线材主要客户为GE、SIEMENS、JASTEC、上海联影、东软医疗、上海辰光、宁波健信等国内外知名医疗器械企业，公司掌握了WIC线材用复合线和铜槽线全套批量化制备技术，解决了产品批量化生产过程中各项难题，已大批量生产，其中WIC线材关键原材料铜槽线目前已实现国产化，未来西部超导将充分发挥人才、技术、装备优势，向着“打造国际一流企业”，成为“国家重要科技战略力量、产业战略力量”的发展目标不断奋进。

广东中实金属有限公司是焊锡和高精度铜异型材材料制造商和供应商，服务于全球电子、半导体、精密焊接及高精度铜异型材应用市场，以高端业界的研发技术与定制化解决方案满足客户产品应用及创新需求，具有年产1500吨的铜异型材的生产能力，目前公司产品已广泛应用于航天、全球电子、超导线材等领域，公司多年来专注于研发创新，着力组建了一支高精尖研发团队，并与清华大学、华南理工、中南大学、广州有色金属研究所等院校进行技术合作，公司秉承科研创新、品质至上、为客户服务的理念，不断创新，解决客户之所需。

西安汉唐分析检测有限公司资质齐全，先后通过国家认证认可监督委员会(CMA)、中国合格评定国家认可委员会(CNAS)和国防科技工业实验室认可委员会(DILAC)认证，是国家工信部授权的“工业（稀有金属）产品质量控制和技术评价实验室”，也是陕西省科技厅授权的“陕西省有色金属分析检测与评价中心”、“核工业用金属材料检测与评价服务平台”、“稀有金属检测信息化管理及共享平台”、“陕西省稀有金属材料安全评估与失效分析平台”。主要承担有色金属、稀有金属、贵金属、钢铁及其合金等产品的化学成份分析、物理性能与力学性能、腐蚀性能测试；材料表面形貌、成分、元素价态等特性的测试与表征；检定校准工作；同时提供技术咨询、实验室规划设计、国际/国家/行业标准制定、分析方法研究、标准物质研制、人员培训等服务。

西北有色金属研究院是上世纪60年代国家在三线重点投资建设的稀有金属材料研究基地和行业技术开发中心，是国家首批转制的242家科研院所之一、全国全面创新改革试点单位，2015年被陕西省委省政府确定为“一院一所”创新发展模式的典型示范单位，2020年被陕西省委省政府定位为“新型科研机构”。西北有色院坚守保障国家稀有金属核心材料和技术自主可控的初心使命，先后承担国家和省市重点科研项目4000余项，取得国家级成果奖励34项、省部级以上成果435项，获授权专利2500余件，发表论文8700余篇，为我国航空、航天、舰船、核工业等重要工程研制关键用材，解决了诸多稀有金属材料领域“卡脖子”问题。

（3）编制组成员及分工

标准制订计划任务正式下达后，立即成立了标准编制组，并落实起草任务，确定标准的主要起草人（详见表1），拟定该标准的工作计划。标准主要起草人及工作职责如下：

表1 标准编制组成员及职责

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 起草人姓名 | 职责及分工 |
| 1 | 郭强 | 标准编制组负责人，负责标准编制方案的确定、标准审查和指标确定； |
| 2 | 王瑞龙 | 标准执笔人，负责标准编制过程中各方案得编制，负责各种文件的编制；负责标准协调管理； |
| 3 | 史小云 | 负责标准进度协调，会议召开，文稿讨论 |
| 4 | 柳祥 | 负责铜槽线数据的归集和指标验证，参加标准讨论和指标确定； |
| 5 | 周子敬 | 负责标准产品技术指标试验、验证和分析，指标确定，参加标准讨论、预审和审定； |
| 6 | 方瀚楷 | 负责铜槽线数据验证，参加标准讨论，信息收集； |
| 7 | 张凯林 | 负责标准产品试验数据归集和计算，相关标准信息和市场信息收集； |
| 8 | 朱燕敏 | 负责超导线材性能验证、数据计算分析，参加标准讨论和指标确定； |
| 9 | 白新房 | 负责标准产品检验，标准方法制定 |
| 10 | 王庆阳 | 负责标准产品试验审核，相关标准信息收集。 |

1.4主要工作过程

1.4.1 标准预研

近年来，随着国内外医疗行业对Magnetic Resonance Imaging（MRI）需求量的大幅增加，MRI市场进一步扩大，其中主机关键部件超导磁体中的核心材料是Wire In Channel（WIC）超导线材，主要采用超导复合线和铜槽线通过镶嵌焊接的方式进行制备，目前国内WIC超导线材用铜槽线原材料主要依赖国外进口，供应商单一，存在供不应求、质量不稳定等风险因素，因此急需开发国内合格的超导用铜槽线供应商，解决铜槽线依赖国外进口、卡脖子问题，彻底实现WIC超导线材国产化，其中首要任务就是建立超导用铜槽线行业标准，通过标准的制定规范铜槽线产品生产质量的稳定性。超导用铜槽线目前无国际标准，主要生产厂家为德国Lebronze和德国Weiland，西部超导材料科技股份有限公司主要从Lebronze采购铜槽线，为了实现超导用铜槽线国产化，制定行业标准迫在眉睫。

1.4.2标准立项

标准项目2022年5月提交全体委员会议讨论后申请立项，2023年5月根据工信厅科[2023]18号和有色标委[2023]51号《关于转发2023年第二批有色金属行业标准制（修）订项目计划及征集起草单位的通知》，《超导线材用铜槽线》行业标准获批立项，项目计划号“2023-0076T-YS”。

1.4.3标准起草阶段

超导线材用铜槽线是制备WIC超导线材的关键原材料，对于MRI磁体具有失超保护的作用。国内外统一采用超导复合线和铜槽线通过镶嵌焊接的方式制备WIC超导线材，但无统一的技术规范，各家根据自身的生产特点和制备工艺为采购商提供满足使用要求的产品。目前，WIC线材用铜槽线国外主要生产厂家为德国Lebronze和德国Weiland，国内生产WIC超导线材的企业仅西部超导材料科技股份有限公司和诺而达（Luvata）超导技术（中山）有限公司两家，所使用的铜槽线都主要从Lebronze采购，无统一的国际标准或行业标准支撑，仅根据各家客户提出的技术要求来组织生产，以确保产品性能满足客户要求，但由于Lebronze对铜槽线的垄断性，提供的产品质量不稳定，大大降低了WIC超导线材成品率，制备的WIC线材表面质量不满足MRI磁体的使用要求，同时由于超导线材用铜槽线剩余电阻比(RRR)高、加工尺寸精度高、强度大、单根长度长、尺寸稳定性高、清洁度要求高等特点，国外和国内加工技术差异较大，导致大批量长期稳定制备难度较大，若通过标准加以约束，产品质量应大幅度提升。

目前，国内能够批量生产超导用铜槽线的企业仅广东中实金属有限公司一家，其按照西部超导材料科技股份有限公司提供的技术支持，试生产了小批量（约100t）的铜槽线，经过考核，产品各项技术参数满足西部超导材料科技股份有限公司的使用要求，制备的WIC线材满足下游客户的使用要求，小批量铜槽线制备的WIC线材成功交付MRI制造商使用，不同MRI制造商使用均反馈良好，所有磁体均励磁成功。

西部超导根据前期获取的技术资料和参编单位提供的相关数据撰写标准草案，并发往相关单位讨论和征求意见。对每家单位提出的意见进行充分论证，反复修改标准草案，经过多次充分讨论和内部研究修改，最终形成了《超导线材用铜槽线》标准讨论稿。

二、编制原则

（1）本标准按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则进行起草。

（2）查阅客户的相关技术要求；

（3）根据超导线材用铜槽线应用领域的特点，力求做到标准的合理性与实用性；

（4）根据产品工艺的成熟与完善、技术发展水平及测试数据确定技术指标取值范围。

（5）完全按照GB/T 1.1和有色加工产品标准和国家标准编写示例的要求进行格式和结构编写。

三、标准主要技术内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

3.1 标准的主要内容确定依据

3.1.1 标准适用范围

本文件规定了超导用铜槽线的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存及随行文件与订货单内容。

本文件适用于采用无氧铜棒通过拉拔、轧制、退火、过定模、超声清洗、涡流探伤加工生产的超导用铜槽线。

3.2.2 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。

1. GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
2. GB/T 3952 电工用铜线坯
3. GB/T 5121 铜及铜合金化学分析方法
4. GB/T 5231 加工铜及铜合金牌号和化学成分
5. GB/T 25897-2020 超导电性：铌钛复合超导体剩余电阻比测定
6. GB/T 29997 铜及铜合金棒线材涡流探伤方法

3.2.3 术语和定义

1. GB/T 25897-2020界定的以及下列术语和定义适用于本文件。
2. 超导体 superconductor
3. 在某一温度下，电阻为零的导体
4. 铜槽线 copper in channel
5. 具有一定形状带有凹槽的铜导体
6. 剩余电阻比 residual resistance ratio；RRR
7. 室温时的电阻值与刚超过超导转变温度时的电阻值之比
8. [来源：GB/T 25897-2020，3.1]

3.2.4.1 产品的牌号及交付状态

产品的牌号应为TU00，交付状态为加工态（H）。

3.2.4.2化学成分

1. 产品的化学成分应符合表1的规定。
2. 化学成分

质量分数（%）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cu | P | Ag | Bi | Sb | As | Fe | Ni | Pb |
| ≥99.90 | ≤0.0003 | ≤0.0025 | ≤0.0001 | ≤0.0004 | ≤0.0005 | ≤0.0010 | ≤0.0010 | ≤0.0005 |
| Sn | S | Zn | Se | Te | Mn | Cd | O |  |
| ≤0.0002 | ≤0.0015 | ≤0.0001 | ≤0.0003 | ≤0.0002 | ≤0.00005 | ≤0.0001 | ≤0.0300 |  |
| 注：其他微量金属元素含量限制在无氧铜范围内。 |

3.2.4.3外形尺寸及其允许偏差

产品的形状如图1所示，产品的尺寸应符合订货单中的规定，尺寸允许偏差应符合表2的规定。



图1 产品形状示意图

1. 尺寸允许偏差

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 宽度A | 高度B | 槽宽D | 槽深C | 外R角R | 内r角r |
| 偏差mm | ±0.03 | ±0.03 | ±0.02 | ±0.02 | ±0.02 | ±0.02 |

3.2.4.4力学性能

产品的室温抗拉强度应不小于200 MPa。

3.2.4.5电性能

产品经过500℃、2h真空退火后的RRR值应不小于250。



3.2.4.6涡流探伤

产品应进行涡流探伤检验，确保其无影响后续使用的缺陷，其中缺陷类型包括表面划伤、裂纹、缺口、凹坑、槽内夹杂等，生产过程中定期或每次更换涡流探头，务必采用涡流标样进行校准，确保涡流探伤的有效性。

3.2.4.7表面（外观）质量

产品不应有任何变形，沿一个方向上的扭转应小于5º。

产品表面不应有杂质、裂纹以及其他的缺陷，其产品中不应有其他金属材料（铁颗粒等）及其氧化物。

3.2.5试验方法

产品的化学成分检验按GB/T 5121规定的方法进行。

产品的外形尺寸及其允许偏差采用金相法进行。

产品的室温拉伸的检验按GB/T 228.1规定的方法进行。

产品的电性能RRR值的检验按GB/T 25897-2020规定的方法进行。

产品的涡流检验按GB/T 29997规定的方法进行。

外观质量采用目视检验或其他适宜的方法进行。

3.2.6检验规则

3.2.6.1检查和验收

产品应由供方或第三方进行检验，保证产品质量符合本文件及合同订单的规定。

需方应对收到的产品按本文件的规定进行检验。如检验结果与本文件及订货单的规定不符时，应以书面形式向供方提出，由供需双方协商解决。属于尺寸、外观质量的异议，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，应由供需双方在需方共同取样或协商确定。

3.2.6.2组批

产品应成批提交检验，每批应由同一牌号、规格、状态、制造方法和同一生产周期的产品组成。检验项目

每批产品应进行化学成分、外形尺寸及其允许偏差、力学性能、电性能、涡流探伤、表面（外观）质量的检验。

3.2.6.3取样

产品的取样应符合表3的规定。

1. 取样

|  |  |
| --- | --- |
| 检验项目 | 取样规定 |
| 化学成分 | 每批任选1卷，取1个试样 |
| 外形尺寸及其允许偏差 | 每批任选1卷，取1个试样 |
| 力学性能 | 每批任选1卷，取1个试样 |
| 电性能 | 每批任选1卷，取1个试样 |
| 涡流探伤 | 逐卷 |
| 表面（外观）质量 | 逐卷 |

3.2.6.4检验结果判定

化学成分不合格时，应从该批产品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，判该批产品合格；若重复试验仍有一个结果不合格，判该批产品不合格。

外形尺寸及其允许偏差不合格时，应从该批产品中另取双倍数量的试样对该不合格项目进行重复试验，试验结果全部合格，判该批产品合格；若重复试验仍有一个结果不合格，判该批产品不合格。

力学性能不合格时，应从该批产品中另取双倍数量的试样对该不合格项目进行重复试验，试验结果全部合格，判该批产品合格；若重复试验仍有一个结果不合格，判该批产品不合格。

涡流探伤不合格时，判该批产品不合格

电性能RRR值不合格时，判该批产品不合格。

表面（外观）质量不合格时，判该卷产品不合格。

3.2.7标志、包装、运输、贮存及随行文件

3.2.7.1产品标志

在检验合格的每批产品上应标记至少如下内容：

1. 牌号；
2. 规格；
3. 供应状态；
4. 批号。

3.2.7.2包装、标志、运输和贮存

产品的包装、标志、运输和贮存应符合订货单中的规定。

3.2.7.3随行文件

每批产品应附有随行文件，应包含以下信息：

1. 供方名称；
2. 产品名称；
3. 订货单号；
4. 产品牌号、规格和状态；
5. 批号；
6. 净重和卷数；
7. 各项分析检验结果及质量检验部门印记；
8. 本文件编号；
9. 出厂日期或包装日期。

3.2.8订货单内容

按本文件订购产品的订货单应包括下列内容：

1. 产品名称；
2. 牌号；
3. 状态；
4. 规格；
5. 净重或卷数；
6. 本文件编号；
7. 其他。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益等情况

5.1 项目的必要性和可行性

根据“十四五原材料工业发展规划”第三章“促进产业供给高端化”的第三节“突破关键材料”和第四节“提高产品质量”，明确指出坚持材料先行和需求牵引并重，聚焦国防建设、民生短板和制造强国建设重大需求，滚动制定关键材料产品目录，制定发布技术路线图，其中提到发展超导材料、智能仿生、增材制造材料等，推动新的主干材料体系化发展，强化应用领域的支持和引导，同时强调加强质量管理和过程管控，持续开展原材料工业质量提升行动，提高产品质量的稳定性、可靠性和适用性，推广先进成型和加工方法、在线检测、智能制造等，建立满足应用需求的生产过程控制及质量管控体系。

Magnetic Resonance Imaging（MRI）用超导线材用铜槽线由于其剩余电阻比(RRR)高、加工尺寸精度高、强度大、单根长度长、尺寸稳定性高、清洁度要求高等特点，国内超导线材用铜槽线一直被国外垄断，主要依赖从德国Lebronze进口，供应商单一，存在供不应求、质量不稳定等风险。经过多年使用发现，进口铜槽线长期存在表面油污较多、槽内铜粉堆积、铜槽变形等影响超导线材质量的致命缺陷，严重影响WIC超导线材产品质量，降低超导线材成品率。除铜槽线本身质量不稳定外，WIC超导线材竞争对手Bruker EAS通过与德国Lebronze签订长期框架协议，限制铜槽线对中国的出口产量，严重制约了国内MRI用超导线材的发展，影响了人民对MRI医疗器械的迫切需求，因此急需开发国内合格的超导线材用铜槽线供应商，解决铜槽线依赖国外进口、卡脖子等问题，彻底实现WIC超导线材国产化，但开发制备超导线材用铜槽线，急需解决高RRR值铜杆原材料供应、整体加工工艺路线探索、机械加工尺寸精度、异型材涡流探伤、表面超声清洗等技术难点。基于以上原因，目前面临的首要任务就是建立超导线材用铜槽线行业标准，通过标准的制定规范铜槽线产品生产质量的稳定性。

5.3 标准的先进性、创新性、标准实施后预期产生的经济效益和社会效益

超导线材用铜槽线是制备WIC超导线材的关键原材料，对于MRI磁体具有失超保护的作用。国内外统一采用超导复合线和铜槽线通过镶嵌焊接的方式制备WIC超导线材，但无统一的技术规范，各家根据自身的生产特点和制备工艺为采购商提供满足使用要求的产品。近年来，随着国内外医疗行业对MRI需求量的大幅增加，MRI市场进一步扩大，其中主机关键部件超导磁体中的核心材料是Wire In Channel（WIC）超导线材，主要采用超导复合线和铜槽线通过镶嵌焊接的方式进行制备。目前，WIC线材用铜槽线国外主要生产厂家为德国Lebronze和德国Weiland，国内生产WIC超导线材的企业仅西部超导材料科技股份有限公司和诺而达（Luvata）超导技术（中山）有限公司两家，所使用的铜槽线都主要从Lebronze采购，无统一的国际标准或行业标准支撑，仅根据各家客户提出的技术要求来组织生产，以确保产品性能满足客户要求，但由于Lebronze对铜槽线的垄断性，提供的产品质量不稳定，大大降低了WIC超导线材成品率，制备的WIC线材表面质量不满足MRI磁体的使用要求，同时由于超导线材用铜槽线剩余电阻比(RRR)高、加工尺寸精度高、强度大、单根长度长、尺寸稳定性高、清洁度要求高等特点，国外和国内加工技术差异较大，导致大批量长期稳定制备难度较大，若通过标准加以约束，产品质量应大幅度提升，从而提高产品成品率，降低生产成本，提高产品竞争力。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

6.1、与国内外标准对比

目前尚未查询到国内外已发布实施的用于超导线材用铜槽线专用技术标准。

6.2 标准水平分析

本标准满足超导线材用铜槽线的技术要求，填补了国内空白，达到了国际先进水平。

七、与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准符合现行法律、法规的要求，并与其他同类国家标准、国家J用标准、行业标准无冲突、重叠和不协调之处。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、作为强制性或推荐性标准的建议

本标准建议不作为强制性标准，而建议作为推荐性。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本标准是根据超导线材行业需求、订货技术要求和实际生产使用情况制定，建议相关单位组织专项标准宣贯会进行系统学习。本标准发布后，各企业单位应积极宣传和贯彻，并立即采用新标准订货，以保证产品质量，满足国内、外市场及用户的需要。

十一、废止现行有关标准的建议

无。

十二、其他主要内容的解释和其他需要说明的事项

无。

《超导线材用铜槽线》行业标准编制组

2023年10月