

T/HEBQIA

团 体 标 准

T/HEBQIA XXXX—2025

结晶器铜板涂熔修复及质量控制技术规范

Technical specifications for copper plate coating repair and quality control of
crystallizers

（征求意见稿）

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

河北省质量信息协会 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 人员要求 1

5 设备配置要求 2

6 涂熔修复全流程要求 2

7 质量控制要求 6

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。

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。

本文件由北京首钢机电有限公司迁安机械修理分公司提出。

本文件由河北省质量信息协会归口。

本文件起草单位：北京首钢机电有限公司迁安机械修理分公司、首钢股份公司迁安钢铁公司、首钢京唐钢铁联合有限责任公司、北京首钢机电有限公司、XXXXX。

本文件主要起草人：马武、吕艳春、闫超、王兴丽、孙雷、陈玲、陶华实、王艳辉、齐杰斌、张小辉、张扬、吕剑、常生财、王三恒、刘小青、XXXXX。

结晶器铜板涂熔修复及质量控制技术规范

1 范围

本文件规定了结晶器铜板涂熔修复技术的人员要求、设备配置要求、涂熔修复全流程要求、质量控制要求。

本文件适用于钢铁行业连铸结晶器铜板的涂熔修复作业及质量控制。

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 1479.1 金属粉末 松装密度的测定 第1部分：漏斗法
- GB/T 1479.2 金属粉末 松装密度的测定 第2部分：斯柯特容量计法
- GB/T 1479.3 金属粉末 松装密度的测定 第3部分：振动漏斗法
- GB/T 1482 金属粉末 流动性的测定 标准漏斗法（霍尔流速计）
- GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 6462 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法
- GB/T 8642 热喷涂 抗拉结合强度的测定
- GB/T 10610 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法
- GB/T 17721 金属覆盖层 孔隙率试验 铁试剂试验
- GB/T 18719 热喷涂 术语、分类
- GB/T 19356 热喷涂 粉末 成分和供货技术条件
- GB/T 36591 硬质合金制品的涂层金相检测方法
- JB/T 9218 无损检测 渗透检测方法

3 术语和定义

GB/T 18719界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

结晶器铜板 crystallizer copper plate

用于将高温钢水冷却形成铸坯坯壳的连铸结晶器核心导热部件。

3.2

涂熔修复 melting and coating repair

通过专用涂熔粉末，经预热、喷涂、热处理等工艺在失效结晶器铜板表面形成功能性涂层，修复表面缺陷并提升铜板性能的技术过程。

4 人员要求

- 4.1 所有作业人员应经过专业培训，熟悉本标准及相关操作规范、工艺要求，具备相应操作技能，考核合格后方可上岗。
- 4.2 作业时应佩戴符合规定的劳动防护用品（如防护口罩、护目镜、手套、防护服、防毒面具、高温防护装备等，具体根据工序要求配备）。
- 4.3 关键工序（如涂熔、热处理、磨削加工等）操作人员应具备专项资质，且有2年以上相关作业经验。

5 设备配置要求

- 5.1 所有设备应符合国家安全生产标准，配备完整的安全防护装置（如防护罩、急停按钮等），并在明显位置张贴操作规程。
- 5.2 应建立设备台账，记录设备型号、采购日期、维护记录、校准记录等信息，保存期限不少于5年。
- 5.3 设备应定期维护保养：
- 矫平机、龙门铣、龙门磨床等精密设备每季度校准一次，精度符合要求；
 - 喷砂机、涂熔设备、加热炉等工艺设备每月检查一次，重点检测压力、温度控制精度；
 - 检测工具（如粗糙度仪、千分尺、涂层测厚仪、力矩扳手、红外测温仪等）经计量检定合格，在有效期内使用，检定周期不超过1年。
- 5.4 新的涂熔设备在使用前或当设备发生重大变化（如更换喷枪等）时，应任选一种涂层进行喷涂试验，涂层性能合格后，设备方可投入使用。
- 5.5 设备运行前应进行空载试运转，确认无异常后方可作业；运行中出现故障应立即停机，排除故障并记录后方可重新启动。

6 涂熔修复全流程要求

6.1 涂熔粉末入厂检验

6.1.1 一般要求

- 6.1.1.1 检验人员应对涂熔粉末进行检验，检验内容包括：
- 根据采购订单，核对涂熔粉末名称、规格、数量等信息；
 - 检查涂熔粉末包装应密封、完整，无破损。
- 6.1.1.2 完成检验后的涂熔粉末应经检验合格后放行生产成品，每批均附有标记单，注明涂熔粉末名称、批号、产地、数量、生产日期、质检员等信息。

6.1.2 涂熔粉末

- 6.1.2.1 涂熔粉末宜采用含有钨、钴、硅、硼、铁元素的镍基合金粉，应符合GB/T 19356的规定。
- 6.1.2.2 涂熔粉末入厂应进行以下性能检测：
- 成分检测：采用专业检测设备对粉末化学成分进行分析；
 - 粒度性能检测：使用粒度分析仪检测粉末颗粒大小及分布；
 - 松装密度检测：根据需求选择GB/T 1479.1～GB/T 1479.3规定的方法进行检测；
 - 流动性检测：按照GB/T 1482规定的方法进行检测。
- 6.1.2.3 所有检测项目均应符合相关验收标准及技术协议要求，方可入库备用。不合格粉末严禁使用，应及时进行退货处理。

6.1.3 涂熔试块检测

制作涂熔试块，试块材质、涂熔工艺应与实际修复铜板一致，对试块进行以下性能检测：

- 涂熔层厚度：按照 GB/T 6462 规定的方法进行检测，厚度符合设计要求；
- 涂层孔隙率：按照 GB/T 17721 规定的方法进行检测，孔隙率控制在规定范围内；
- 涂层氧化物：按照 GB/T 36591 规定的方法进行检测，无过多氧化物影响涂层性能；
- 界面污染：按照 JB/T 9218 或 GB/T 36591 规定的方法进行检测，涂层与铜板结合面无污染；
- 显微硬度：按照 GB/T 4340.1 规定的方法分别检测试块不同部位硬度，硬度符合设计要求；
- 结合力：按照 GB/T 8642 规定的方法进行检测，涂层抗拉结合强度符合设计要求。

6.2 铜板处理

6.2.1 清理

- 6.2.1.1 采用角磨机打磨铜板四周，彻底清除表面附着的水垢、油污、锈蚀及其他污物。
- 6.2.1.2 重点清理螺纹孔底部胶圈，去除胶圈残留及孔内杂质。
- 6.2.1.3 检查铜板螺纹套安装情况及表面质量。对松动的螺纹套采用专用工具进行紧固处理；对存在腐蚀、开裂或紧固后仍无法满足使用要求的不合格螺纹套，及时更换为同规格、同材质的合格产品。
- 6.2.1.4 检验基准：铜板螺纹套应紧固可靠，无缺失、松动、腐蚀、开裂等现象。

6.2.2 矫平

- 6.2.2.1 采用专用吊运设备将待矫平铜板吊运至矫平机下平台，平稳放置铜板，无歪斜、碰撞等情况。
- 6.2.2.2 操作矫平机使铜板行走到上压力平台下方，根据铜板变形情况，在铜板合适位置放置木方作为垫块，避免矫平过程中损伤铜板表面。
- 6.2.2.3 启动矫平机，对铜板逐步施加压力，过程中多次用平尺检测铜板平面度，根据检测结果逐步调整压力大小及施力位置，直至铜板平面度符合设计要求。
- 6.2.2.4 检验基准：采用平面度检测仪进行检测，铜板平面度应小于 0.2 mm。

6.3 组装胎具

- 6.3.1 胎具装配前，采用压缩空气配合抹布对胎具表面进行彻底清理，去除表面灰尘、油污、铁屑等杂物。
- 6.3.2 用吊运设备将清理合格的铜板平稳吊运至装配平台，使铜板水缝面朝上放置。
- 6.3.3 吊运工装胎具至铜板上方，调整胎具位置，使胎具上的连接孔与铜板螺纹孔精准对齐，对齐过程中缓慢操作，避免碰撞铜板。
- 6.3.4 胎具对齐后轻轻落下，使用力矩扳手从铜板中间位置开始，按照对称、均匀的原则逐步紧固螺栓。螺栓分两次紧固，第一次预紧力为 60 Nm，全部螺栓预紧完成后，再进行第二次紧固，紧固力为 150 Nm。
- 6.3.5 胎具维护：铜板胎具每 2 个月进行一次全面检查，重点检测胎具平面度。检测不合格的胎具及时进行修复或更换，严禁使用不合格胎具进行装配作业。
- 6.3.6 检验基准：使用塞尺检测铜板与胎具之间的缝隙，所有检测点缝隙均应小于 0.2 mm，贴合紧密，无松动现象。

6.4 涂熔前加工

- 6.4.1 将装配好胎具的铜板平稳放置在龙门铣工作台上，对工件进行拉直、找平处理，采用专用夹具将铜板及胎具牢固压紧，防止加工过程中出现位移、振动。

6.4.2 按照加工图纸要求,控制铣削速度、进给量等工艺参数,对铜板涂熔层进行粗铣加工。铣削过程中,将原有涂熔层完全去除,露出铜板本体。

6.4.3 检验基准:铜板母材上口应进行着色探伤检测,铜板工作面区域无裂纹、凹坑、残余涂熔层、锈蚀等缺陷。铜板母材疲劳层去除量应不小于 0.5 mm,

6.5 拆卸胎具

6.5.1 选择干净、平整、无杂物的操作平台作为拆卸场地,避免杂物损伤铜板表面。

6.5.2 采用吊运设备将加工完成的铜板从龙门铣工作台上平稳吊运至拆卸平台。

6.5.3 使用电动扳手按照与紧固相反的顺序,逐步松开并拆卸胎具螺栓,拆卸过程中注意保护铜板螺孔,避免损坏螺纹。

6.5.4 螺栓全部拆卸完成后,平稳吊离胎具,对铜板及胎具表面进行清理,去除加工残留杂物。

6.6 铜板清洗

6.6.1 准备适量洗衣粉溶液,将百洁布浸泡在溶液中,用百洁布对铜板螺纹套、水槽、吊装孔等部位进行反复擦拭,彻底清除表面附着的油污、铁屑、灰尘等杂质。

6.6.2 对于螺纹孔、水槽死角等难以清理的部位,可使用毛刷配合清洗。

6.6.3 清洗完成后,用清水将铜板表面冲洗干净。用干净抹布将铜板表面擦干,或采用压缩空气吹干,防止水分残留导致锈蚀。

6.6.4 检验基准:清洗后的铜板表面应无油污、杂质、锈蚀,母材本色清晰可见。

6.7 喷砂准备

6.7.1 对清洗后的铜板进行全面外观检查。轻微缺陷可进行打磨修复,严重缺陷无法修复的进行标识,禁止进入喷砂工序。

6.7.2 采用丙酮、无水酒精或二甲苯作为清洗剂,用干净抹布蘸取清洗剂,对铜板表面及侧边进行反复擦拭。

6.7.3 使用角磨机对铜板表面及侧边进行打磨处理,去除表面氧化层及加工过程中产生的加工硬化层,打磨过程中应控制打磨力度,避免过度打磨损伤铜板母材。

6.7.4 检验基准:铜板表面应无凹坑、划伤、磕伤等缺陷,无残留的油污、水分及其他污物。

6.8 铜板喷砂

6.8.1 将准备好的铜板放置在喷砂机内,调整铜板位置,使涂熔面正对喷枪方向。

6.8.2 启动喷砂机,对铜板涂熔面进行整体喷砂处理,喷砂过程中均匀移动喷枪。

6.8.3 对于铜板边角等容易遗漏的部位,单独采用斜喷方式进行补充喷砂。

6.8.4 喷砂完成后,关闭喷砂机,使用压缩空气对铜板表面进行全面吹扫,使用塑料刷子及刀片对铜板表面残留的顽固砂粒进行彻底清理。

6.8.5 喷砂后的表面不允许赤手接触、相互碰撞划磨,避免因工位器具和手套不洁净等而造成二次污染。若被污染重新进行清洗、喷砂。

6.8.6 作业结束后,关闭电源,清理作业场地,对砂粒进行回收处理,分类存放可回收砂粒与废弃砂粒。

6.8.7 检验基准:

——表面粗糙度:采用粗糙度仪进行检测,铜板表面粗糙度应控制在 $20\ \mu\text{m}\sim 40\ \mu\text{m}$ 范围内,检测点均匀分布在涂熔面及边角部位;

——外观质量:全面检查铜板表面,应无漏喷点、污染物、凹坑、裂纹等缺陷,边角部位无毛刺、

无未处理盲区。

6.9 铜板涂熔

6.9.1 涂熔粉末预处理：将选定的涂熔粉末放入专用预热设备中，预热温度控制在 $150^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$ 范围内，预热时间根据粉末特性确定。

6.9.2 铜板预热：用压缩空气再次吹去铜板表面灰尘，使用喷枪进行火焰预热，喷枪匀速行走 1 遍，预热温度控制在 $40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内，采用红外测温仪进行实时监测。

6.9.3 涂熔作业：按照预先制定的涂熔工艺参数（包括喷涂距离、喷涂速度、送粉量、火焰温度等）及涂熔顺序，对铜板涂熔面进行喷涂作业。

6.9.4 涂熔完底层后尽快喷涂面层，间隔时间不超过 2 h。

6.9.5 所有涂熔作业完成后，去除保护材料和非涂熔区域的涂层。清除非涂熔表面上的涂层时，使用工具沿涂层向铜板方向打磨。

6.9.6 检验基准：采用千分尺或涂层测厚仪在铜板涂熔面不同位置进行检测，涂层加工余量应不大于 0.45 mm。

6.10 铜板热处理

6.10.1 装炉：采用吊运设备将涂熔后的铜板平稳吊入加热炉内，铜板摆放方向垂直于炉体方向，使铜板之间及铜板与炉壁之间留有足够的散热空间。

6.10.2 热电偶安装：将热电偶固定在铜板侧边，热电偶与铜板表面紧密接触，固定牢固，防止加热过程中脱落或接触不良。

6.10.3 热处理作业：启动加热炉，按照预先设定好的热处理曲线（包括升温速度、保温温度、保温时间、降温速度等）进行热处理作业，过程中实时监控炉内温度。

6.10.4 出炉：按照工艺要求冷却至规定温度后，方可将铜板平稳吊出加热炉，放置在指定区域自然冷却至室温，避免快速冷却导致涂层开裂。

6.11 铜板矫平

因铜板经过涂熔及热处理后产生新的变形，应再次进行矫平处理。步骤见 6.2.2。

6.12 涂熔后组装胎具

为进行涂熔后加工，应进行胎具组装。步骤见 6.3。

6.13 涂熔后加工

6.13.1 将装配好胎具的铜板放置在龙门铣床上，牢固固定。

6.13.2 按照加工图纸要求及涂熔层设计厚度，对铜板进行精铣加工，加工过程中严格控制铣削工艺参数，使加工精度符合设计要求。

6.13.3 精铣加工后根据后续磨削工艺要求控制预留磨削余量。

6.13.4 检验基准：采用千分尺或涂层测厚仪等检测工具对磨削余量进行检测，余量应控制在 0.04 mm~0.07 mm 范围内，加工表面平整，无明显加工痕迹。

6.14 磨削加工

6.14.1 作业前，全面检查龙门磨床，包括设备运转状态、砂轮磨损情况等，对砂轮进行修磨处理。清扫磁性工作台，去除表面铁屑、灰尘等杂物。

6.14.2 将铜板及工装平稳组装到磨床上，调整铜板位置，采用磁性夹具将铜板牢固固定。

6.14.3 按照涂层厚度要求及磨削工艺参数（包括磨削速度、进给量、磨削深度等）进行磨削加工，过程中多次测量涂层厚度，及时调整磨削参数。

6.14.4 检验基准：磨削后的铜板工作面应平滑光亮，无划痕、无毛刺、无涂层缺陷，涂层厚度符合设计要求，采用目测并结合千分尺或涂层测厚仪检测进行验收。

6.15 拆卸胎具

步骤见6.5。

6.16 精整抛光

6.16.1 选用抛光机和砂盘，对铜板侧板进行抛光处理，彻底清除侧板残留涂层、毛刺及其他杂质。

6.16.2 对铜板水槽进行全面清理，去除水槽内残留的铁屑、杂质等，直至露出铜板母材本色。

6.16.3 检查铜板螺纹套安装情况。

6.16.4 检验基准：铜板螺纹套应无松动、腐蚀、开裂等情况。若松动应对螺纹套进行紧固，不合格的及时更换。

7 质量控制要求

7.1 外观

采用目测和触摸检查，修复后的铜板工作面应平滑，无龟裂、开裂、异物附着等缺陷。表面粗糙度按照GB/T 10610规定的方法检测，粗糙度应不大于1.6 μm。

7.2 涂熔层厚度

采用千分尺或涂层测厚仪在铜板工作面不同位置进行检测，涂熔层上口厚度应控制在0.25 mm～0.55 mm范围内，下口厚度控制在0.9 mm～1.2 mm范围内。。

7.3 涂熔层硬度

按照GB/T 4340.1规定的方法，分别检测铜板上口、中间及下口的维氏硬度，上口及中间硬度应控制在150 HV～350 HV范围内，下口硬度控制在300 HV～600 HV范围内。

7.4 不合格涂层的处理

一般可使用机械或化学方法，或两种方法相结合去除不合格的涂层。去除方法应使铜板除去量最小并不损伤基体材料的性能。当待喷涂部位符合工艺规范要求时，可按相关工艺规程规定进行涂层的返工。