ICS 45.060.20

CCS S 50

团体标准

T/CMES XXXX—20XX

轨道交通装备激光熔覆增材修复检测方法

Testing method for laser cladding additive repair of rail transit equipment

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会（英文简称CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的3/4以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路9号主语国际4座11层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：[www.cmes.](http://www.cmes.)org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

[前言 IV](#_Toc13467)

[1 范围 1](#_Toc11440)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc28007)

[3 术语和定义 2](#_Toc15545)

[4 一般要求 2](#_Toc21975)

[4.1 人员 2](#_Toc23122)

[4.2 设备 2](#_Toc32269)

[5 检测类别 2](#_Toc25483)

[6 修复前毛坯件质量检验 3](#_Toc14981)

[7 修复后外观质量检测 3](#_Toc5850)

[7.1 尺寸检测 3](#_Toc14093)

[7.2 表面光泽度与表面粗糙度检测 3](#_Toc4273)

[7.3 表面缺陷和表面状态检测 4](#_Toc6334)

[8 修复后内部质量检测 4](#_Toc13979)

[8.1 内部缺陷检测 4](#_Toc7201)

[8.2 显微组织与物相结构检测 4](#_Toc19116)

[8.3 化学成分检测 4](#_Toc3178)

[8.4 内部质量评定 5](#_Toc24321)

[9 修复后性能检测 5](#_Toc24565)

[9.1 力学性能检测 5](#_Toc29279)

[9.2 耐腐蚀性检测 5](#_Toc15617)

[9.3 摩擦学性能检测 5](#_Toc21094)

[9.4 剩磁检测 6](#_Toc394)

[9.5 热膨胀系数检测 6](#_Toc30872)

[9.6 台架性能测试 6](#_Toc20143)

[附录A （资料性） 轨道交通装备激光熔覆增材修复常用检测设备的特点及适用范围 7](#_Toc1651907)

[参考文献 8](#_Toc1653823)

[表1 不同检测对象的检测项目表 3](#_Toc1653823)

前 言

本文件依据[GB-T 1.1-2020](http://www.zjsm.org/file/news/637231474274567101.pdf" \t "_blank) 给出的规则起草。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国机械工程学会不负责对任何该类专利的鉴别。

本文件由中国机械工程学会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件起草人：

轨道交通装备激光熔覆增材修复检测方法

范围

本文件规定了轨道交通装备零部件激光熔覆增材修复检测方法的一般要求、检测类别、修复前毛坯件质量检验、修复后外观质量检测、内部质量检测与性能检测。

本文件适用于轨道交通装备零部件激光熔覆增材修复的检测。

规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 222 钢的成品化学成分允许偏差

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 1031 产品几何技术规范(GPS)表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值

GB/T 1979 结构钢低倍组织缺陷评级图

GB/T 2652 焊缝及熔敷金属拉伸试验方法

GB/T 3177 产品几何技术规范（GPS） 光滑工件尺寸的检验

GB/T 4337 金属材料疲劳试验旋转弯曲方法

GB/T 4339 金属材料热膨胀特征参数的测定

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法

GB/T 6398 金属材料 疲劳试验 疲劳裂纹扩展试验方法

GB/T 7314 金属材料 室温压缩试验方法

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 10124 金属材料实验室均匀腐蚀全浸试验方法

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

[GB/T 12444](http://10.50.132.32:8082/standard_detail/showfile.jsp?table=xxtz&standard_number=GB/T+12444-2006" \t "http://10.50.132.32:8082/zrtxb1/_blank) 金属材料 磨损试验方法 试环-试块滑动磨损试验

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 19500 X-射线光电子能谱分析方法通则

GB/T 28618 机械产品再制造 通用技术要求

GB/T 29795 激光修复技术 术语和定义

GB/T 30704 表面化学分析 Ｘ射线光电子能谱 分析指南

GB/T 31208 再制造毛坯质量检验方法

GB/T 40728 再制造 机械产品修复层质量检测方法

GB/T 40737 再制造 激光熔覆层性能试验方法

GB/T 41477 激光熔覆修复金属零部件力学性能试验方法

GB/T 42400 激光熔覆修复金属零部件硬度试验方法

GB/T 42401 激光熔覆修复 缺陷质量分级

TB/T 2779 机车、动车用柴油机凸轮轴

TB/T 2817 铁路货车用辗钢整体车轮

TB/T 3235 铁路专用几何量计量器具通用技术条件

TB/T 3475.1 机车、动车组用柴油机零部件 第1部分：曲轴

DB37/T 3590 再制造 激光熔覆层与基体结合强度试验方法及评定

术语和定义

GB/T 29795—2013界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

激光熔覆增材修复laser cladding additive repair

采用激光熔覆技术恢复损伤零部件的形状和尺寸，并使其满足使用要求。

[来源：GB/T 29795—2013，3.2，有修改]

激光熔覆修复区域 laser cladding repairing area

采用激光加工技术恢复损伤零部件的形状和尺寸后，与基材形成冶金结合的表面覆层及在基材形成的热影响区所组成的区域。

[来源：GB/T 42401—2023，3.1]

一般要求

人员

从事轨道交通装备增材修复检测人员应熟知本职业务，具有一定的专业理论知识和实践经验，应能正确并熟练使用相应的检测设备。

轨道交通装备增材修复检测操作人员、审核员、监督员应按国家和行业相关规定进行培训、考核并取得相应资质。实施无损检测的人员，应按照GB/T 9445相应体系要求进行培训，并取得国家相关授权部门颁发的无损检测等级资格证书。

设备

应根据不同的检测工艺选用适宜的检测设备进行检测。轨道交通装备激光熔覆增材修复常用检测设备的特点及适用范围见附录A。

应按检测设备要求，定期对检测设备进行检查和校准。

检测设备的型号、技术参数、检测精度及灵敏度等应符合使用要求。

检测类别

轨道交通装备激光熔覆增材修复检测按照检测对象不同可分为：试样检测、样件检测与工程产品检测。不同检测对象的检测项目见表1。

表1 不同检测对象的检测项目表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检测项目  检测对象 | 外观目视检查 | 尺寸  测量 | 无损  探伤 | 孔隙率 | 残余  应力 | 拉伸  性能 | 疲劳  性能 | 腐蚀  性能 | 耐磨  性能 | 台架  试验 | 装车  验证 |
| 试样 | ● | ● | ● | ● | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 样件 | ● | ● | ● | ○ | ● | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ● | ● |
| 产品 | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ |

注：●代表做；○代表不用做；◎代表根据实际情况选做

试样检测主要包括外观、力学、腐蚀等各项性能检测；样件检测主要包括性能检测及无损探伤检测；工程产品检测除了外观检测、无损检测等，需根据零件本身特点结合该零件的产品规格书进行性能测试、台架及疲劳试验。

注：另，除满足以上条件外，实际应用过程中修复产品应按照其具体应用单位的技术条件或技术要求规格书进行检测。

修复前毛坯件质量检验

轨道交通装备激光熔覆增材修复前毛坯件应按照GB/T 28618的要求进行质量检验。

毛坯件质量检验宜参照GB/T 31208的检验方法进行外观质量、内部质量及特殊性能检测，记录并分析损伤形式（如：磨损、腐蚀、断裂等）与损伤程度，并对检测结果进行评价。

修复后外观质量检测

尺寸检测

尺寸检测包括修复层厚度检测、修复层与基体变形量检测、形位公差检测等内容，宜使用卡尺、千分尺、高度规、角度规或光学检测设备等精密测量工具。通用计量器具应按GB/T 3177选用，专用计量器具应按TB/T 3235或供需双方协商选用。

应根据检测部位的形状、修复层与基体材质、修复层制备工艺、技术文件的规定等要求，选择适合的检测方法。

尺寸测量应对增材修复层的厚度、宽度、长度、直径、角度、圆度、圆柱度、跳动等尺寸和机械加工后修复层及零件的形位公差进行测量和记录，并与被修复部位的原始尺寸或设计要求进行对比。修复前后的测量基准、定位基准及测量点位置应一致。

表面光泽度与表面粗糙度检测

表面光泽度检测应符合GB/T 40728第5.2条款的规定。

表面粗糙度检测应符合GB/T 1031的规定。所用测量仪示值误差不应超过±10%，示值变动性不应超过6%。

进行无损剥离后金属橡胶件进行表面处理，表面不应有其他残留物，清洁度达到对应产品工艺要求。

表面缺陷和表面状态检测

表面缺陷与状态检测包括宏观检测和微观检测，宏观检测可采用目视或放大镜对加工后的修复层外观进行初步检测，微观检测可采用光学显微镜法、电子显微镜法、磁粉探伤、渗透探伤等方法进行检测，缺陷等级评定具体参照GB/T 42401进行。

除离线检测手段外，还可以通过视觉、可见光、红外等手段实施表面检测，具体实施由供需双方协商。

修复层的表面缺陷包括裂纹、针孔、麻点、气泡、脱落等，应选择适用的检测方法进行检测。

修复层表面状态检测包括颜色、熔化状态、致密程度等检测内容，检测时应考虑修复层表面的异常因素（如：成分不均、过熔、孔隙等）对检测的影响。

机械加工后的修复层应与同型新造产品表面质量进行对比，初步评估修复层质量。

应对修复后的零件表面缺陷与表面状态进行初检和复检（2次相同检测方法），初检宜在机械加工后进行，复检宜在零件装机试验后进行。

表面缺陷与表面状态检测方法应兼顾到检测精度和效率，与再制造生产工艺相匹配。

修复后内部质量检测

内部缺陷检测

内部缺陷包括裂纹、气孔、夹杂、未熔、孔隙以及其他影响修复层内部质量的缺陷，宜采用超声、涡流、磁记忆、X射线数字成像等无损检测技术进行。典型无损检测修复层内部缺陷的适用范围及检测标准已参照GB/T 40728的相关规定执行。

孔隙率检测宜参照GB/T 40728第6.1条款的相关规定执行。

增材修复层和增材修复区域内部无裂纹、气孔、夹杂、脱层等缺陷，或缺陷允许处理，其处理方法、处理部位及数量、大小、分布等符合相关的技术标准和规范的要求，不影响修复零件的使用性能。缺陷等级评定具体参照GB/T 42401进行。

应对机械加工后的零件增材修复层和增材修复区域进行无损检测。

显微组织与物相结构检测

增材修复显微组织检测包括光学显微镜、透射电镜、扫描电镜、电子探针微区分析仪、同步辐射微束X射线荧光分析仪、原子探针层析成像等。

激光熔覆修复涂层的晶粒度检测宜参照GB/T 6394的规定进行测定。

激光熔覆修复涂层的显微组织检测宜参照GB/T 13298的规定执行。

铝合金制品的低倍组织检测宜参照GB/T 3246.1的规定进行。

化学成分检测

化学成分分析应在增材修复后进行，以评估增材修复层和增材修复区域的化学成分是否符合要求，化学成分检测应按照GB/T 19500和GB/T 30704的相应部分地规定执行。

化学成分分析应使用光谱仪、X射线荧光仪、电感耦合等离子体发射光谱仪等方法，根据被修复部位的类型、位置、大小、形状、性能要求等因素选择合适的分析方法和设备。

增材修复层和增材修复区域的钢的化学成分允许偏差应符合GB/T 222规定。

化学成分检测的环境条件应符合要求，避免外界因素的影响。

内部质量评定

内部质量评定的结果应为合格或不合格。合格表示增材修复层和增材修复区域满足8.1、8.2和8.3的全部要求；不合格表示增材修复层和增材修复区域不满足8.1、8.2和8.3任意一条。

修复后性能检测

力学性能检测

力学性能检测宜在增材修复前后进行，以评估增材修复层和增材修复区域的硬度、拉伸性能、弯曲性能、结合强度、残余应力、耐冲击性能与疲劳性能等是否符合要求。力学性能检测项目应根据被修复零部件的使用性能进行选择。

铁路货车弹性旁承体刚度及疲劳试验应符合TB/T 3269及相关技术文件的规定。

轴箱橡胶垫刚度及疲劳试验应符合TB/T 3268及相关技术文件的规定。

轴向橡胶垫应符合Q/CR 548.1及相关技术文件的规定。

力学性能检测方法包括但不限于：

1. 硬度检测：按GB/T 42400的规定执行；
2. 拉伸试验：按GB/T 228.1及GB/T 2652的规定执行；
3. 压缩试验：按GB/T 7314的规定执行。
4. 冲击试验：按GB/T 229的规定执行；
5. 结合强度试验：按DB37/T 3590的规定执行；
6. 弯曲性能试验：按GB/T 232的规定执行；
7. 疲劳试验：按GB/T 4337或GB/T 6398的规定执行。

注1：冲击试验结果需取3次试验次数值的平均值，单个数值不应小于最小平均值的70%。

注2：硬度检测应在技术规范中规定交货状态硬度时进行检测。

注3：熔覆层到基体的硬度分布梯度符合相应的设计要求。

耐腐蚀性检测

盐雾腐蚀检测宜参考GB/T 10125或GB T 2423.17中的相关规定执行。

周期浸润腐蚀检测宜参考GB/T 10124中的相关规定执行。

摩擦学性能检测

摩擦学性能检测宜参考GB/T 40728中的相关规定执行。

滑动磨损试验方法宜参考[GB/T 12444](http://10.50.132.32:8082/standard_detail/showfile.jsp?table=xxtz&standard_number=GB/T+12444-2006" \t "http://10.50.132.32:8082/zrtxb1/_blank)中的相关规定执行。

剩磁检测

修复后的轨道交通装备零件，根据性能要求，进行磁粉探伤后，确保剩磁量满足零件要求，具体可参照TB/T 2817、TB/T 3475.1、TB/T 2779的规定执行。

热膨胀系数检测

在交变温度下服役的零部件需进行熔覆层与基体的热膨胀系数检测，应按照GB/T 4339的规定执行。

台架性能测试

修复后的轨道交通装备零部件，应按照相应的标准或技术规范进行台架性能试验，以验证其可靠性满足技术规范要求。

附录A

（资料性）

轨道交通装备激光熔覆增材修复常用检测设备的特点及适用范围

轨道交通装备激光熔覆增材修复常用检测设备的特点及适用范围见表A.1。

表A.1 轨道交通装备激光熔覆增材修复常用检测设备

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 设备特点 | 适用范围 |
| 1 | 金相显微镜 | 具有直观、准确、操作简单等特点，有利于快速地进行组织结构分析和判断。 | 适用于实验室内对金属材料、合金材料、陶瓷材料等多种样品的显微组织分析。 |
| 2 | 扫描电子显微镜 | 仪器设备分辨率高、样品制备简单，如配备能谱仪装置还可进行微区成分分析。 | 适用于实验室内对金属材料、合金材料、陶瓷材料（需表面导电预处理）等多种样品的微观形貌与成分分析。 |
| 3 | 表面粗糙度仪 | 具有测量精度高、测量范围宽、操作简便、便于携带、工作稳定等特点。 | 应用于各种金属与非金属的加工表面粗糙度检测。便携式表面粗糙度仪更适宜在生产现场使用。 |
| 4 | 显微维氏硬度计 | 适用范围广、测量精度高、可靠性高。 | 主要用于实验室内对热处理、碳化、淬火硬化层，表面覆层，钢，有色金属，微小及薄形零件等的表面及截面的微观硬度测试。 |
| 5 | 洛氏硬度计 | 适用范围广、测试效率高。 | 用于金属、塑料、橡胶、陶瓷等材料的宏观硬度测试，特别是在金属材料的硬度测试中应用最为广泛。 |
| 6 | 里氏硬度计 | 操作简单方便、便于携带、测量范围宽。 | 广泛用于测试各种金属材料的硬度，便携式里氏硬度计更适宜在生产现场使用，无需进行试样制备。 |
| 7 | 拉伸试验机 | 设备精度高、稳定性好，操作方便，需按照标准进行试样制备。 | 主要适用于金属及非金属材料的拉伸强度及断裂韧性等性能测试 |
| 8 | 涂层测厚仪 | 操作简单、测量方便、测量误差小、可靠性高。 | 可无损地测量磁性金属基体上非磁性涂层的厚度及非磁性金属基体上非导电覆层的厚度。 |
| 9 | 磁粉探伤仪 | 显示直观、操作简单、适用性强，适宜现场无损检测。 | 适用于检查铁磁性材料工件外表和近外表的裂纹和目视难以看出的缺陷、夹杂等。 |
| 10 | X射线探伤仪 | 具有高灵敏度和高分辨率的特点，缺陷的定位和识别更加准确，体积型缺陷检出率高，操作现场需进行射线防护。 | 适宜检验厚度较薄的工件，适宜检测对接焊缝。 |
| 11 | 工业CT设备 | 高精度、高分辨率、无损检测工件内部气孔、夹杂、针孔、缩孔、分层、裂纹等缺陷。 | 主要应用于工业在线过程的实时检测和大型工业部件的探查。 |
| 12 | 超声波探伤仪 | 快速、便捷、无损、精确探伤。 | 既可以用于实验室，也可以用于工程现场。主要用于工件内部多种缺陷的检测、定位、评估和诊断。 |

参考文献

[1] Q /CR 215-2017 铁路机车牵引齿轮检修技术规范

[2] TJ/CL 572-2020 铁路货车弹性旁承体、轴箱橡胶垫和轴向橡胶垫钢件检修暂行技术条件

[3] TB/T 3267 铁路货车承载鞍及弹性定位件

[4] TB/T 3268 铁路货车弹性旁承体

[5] Q/CR 548.1 铁路货车转向架 第1部分 交叉支撑式转向架

**ICS号：45.060.20**

**中国标准文献分类号：S 50**

**关键词：轨道交通装备、增材、修复、检测**