

ICS 25.020

CCS J 39

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

激光熔覆制动盘涂层质量评价与测试 方法 (草案)

Quality evaluation and test methods for laser cladding coatings on brake
discs

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 评价原则 2

 4.1 独立性 2

 4.2 科学性 2

 4.3 完整性 2

5 质量评价指标体系 2

 5.1 总体评分框架 2

 5.2 涂层本体质量 3

 5.3 界面质量 3

 5.4 服役性能 4

 5.5 几何与缺陷 4

6 测试方法 5

 6.1 涂层本体质量 5

 6.2 界面质量 5

 6.3 服役性能 5

 6.4 几何与缺陷 5

7 评价分级与综合判定 6

 7.1 综合评分计算公式 6

 7.2 评价等级 6

 7.3 关键项否决制 6

8 评价报告 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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次编制。

激光熔覆制动盘涂层质量评价与测试方法

1 范围

本文件规定了汽车用制动盘激光熔覆涂层的评价原则、质量评价体系、测试方法、评价分级与综合判定及评价报告。

本文件适用于M类（载客车辆）和N类（载货车辆）汽车用盘式制动器制动盘的激光熔覆涂层质量评价与测试。

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 1031 表面粗糙度 Ra 检测
TB/T 2980 热疲劳测试、表面粗糙度检测、涂层无损探伤
GB/T 4956 磁性法测涂层厚度
GB/T 11344 超声波法测涂层厚度
GB/T 13298 致密度 / 孔隙率、界面冶金结合区宽度金相测试
GB/T 29795 激光修复技术 术语和定义
GB/T 33408 致密度 / 孔隙率、稀释率测试
GB/T 40737 单层厚度均匀性、剪切强度测试
GB/T 42400 截面硬度梯度测试
GB/T 42401 未熔合 / 夹渣缺陷分级、无损检测联合判定
GB/T 43853 高温摩擦磨损球 - 盘法测试
GB/T 44990 界面结合强度剪切法测试

3 术语和定义

GB/T 29795 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

稀释率 dilution rate

激光熔覆过程中，基材熔化进入熔覆层的程度，通常以熔覆层中基材成分所占的面积百分比或体积百分比表示。

3.2

致密度 relative density

熔覆层实际密度与理论密度的比值，或以其倒数——孔隙率表征。

3.3

界面结合强度 interfacial bonding strength

熔覆层与基材界面处抵抗分离的能力，通常以剪切强度或拉伸强度（MPa）表示。

4 评价原则

4.1 独立性

4.1.1 机构独立

检测评价机构应是独立于制动盘制造商、涂层材料供应商及设备集成商的第三方法人实体。机构不得与上述利益相关方存在资产、管理或业务上的关联。

4.1.2 人员独立

参与评价的检测人员、审核专家不应在被评方兼任任何职务。相关人员需签署利益冲突声明，承诺在评价周期内与被评方无任何形式的商业利益往来。

4.1.3 流程独立

从样品抽取、编码、检测到报告出具的全过程，应由评价机构独立控制。样品应采用“盲样”管理，即检测人员无法获知样品来源。评价结果不应受任何外部干预，任何沟通均需通过正式渠道记录在案。

4.2 科学性

4.2.1 指标可测

所有评价指标必须是可量化的物理量或性能参数。

4.2.2 方法可复现

测试方法应详细规定试样制备、设备要求、环境条件、操作步骤和数据处理方式。任何具备资质的实验室，在遵循该方法时，都应能获得在允许误差范围内的结果。

4.3 完整性

4.3.1 涂层本体性能

包括涂层致密度、显微硬度、相组成、残余应力、表面粗糙度及耐磨性等。

4.3.2 界面结合质量

重点评估涂层与基体之间的冶金结合状态，通过金相分析、扫描电镜（SEM）观察界面形貌，结合能谱（EDS）分析元素扩散情况，并采用拉伸法或剪切法测定结合强度。

4.3.3 服役性能模拟

通过摩擦磨损试验、热疲劳试验、制动模拟台架试验等手段，评估涂层在真实工况下的摩擦稳定性、抗热衰退性及耐久性。

4.3.4 缺陷检测与控制

利用无损检测技术识别涂层中的裂纹、气孔、未熔合、夹杂等缺陷，并依据相关标准进行分级评定。

5 质量评价指标体系

5.1 总体评分框架

总体评分要求应符合：

- a) 总分为 100 分，由四个一级指标加权合成；
- b) 每个二级指标均设定满分值，根据测试结果对照评分规则赋分；
- c) 单项指标得分可为小数（保留一位），最终综合得分四舍五入取整；
- d) 设置一票否决项：一旦触发，整体评价直接判为低于“60 分”。

5.2 涂层本体质量

涂层本体质量评分要求见表1：

表 1 涂层本体质量评分

二级指标	满分	评分原则	详细规则	
致密度/孔隙率	10 分	按金相法测得孔隙率（%）评分	孔隙率 $\leq 0.3\%$	10 分
			$0.3\% < \text{孔隙率} \leq 0.5\%$	7 分
			$0.5\% < \text{孔隙率} \leq 1.0\%$	4 分
			孔隙率 $> 1.0\%$	0 分
稀释率	8 分	按截面几何法测得稀释率（%）评分	$5\% < \text{稀释率} \leq 15\%$	8 分
			$3\% < \text{稀释率} \leq 5\%$	5 分
			$15\% < \text{稀释率} \leq 20\%$	
			稀释率 $< 3\%$	0 分
			稀释率 $> 20\%$	
截面硬度梯度	7 分	按 GB/T 42400 测量，从涂层表面到基体的硬度变化曲线	硬度从表面至界面平滑下降，无明显突变	7 分
			出现一次突变（ $> 50 \text{ HV}0.3$ ）扣 2 分	最多扣至 0 分
单层厚度均匀性	5 分	金相切片 5 点测量厚度，计算相对偏差	相对偏差 $\leq \pm 10\%$	5 分
			$\pm 10\% \sim \pm 15\%$	3 分
			相对偏差 $> \pm 15\%$	0 分

5.3 界面质量

界面质量评分要求见表2：

表 2 界面质量评分要求

二级指标	满分	评分原则	详细规则	
界面结合强度	12 分	按 GB/T 44990 剪切法，测值单位 MPa	$\geq 350 \text{ MPa}$	12 分
			$300 \sim 349 \text{ MPa}$	8 分
			$250 \sim 299 \text{ MPa}$	4 分
			$< 250 \text{ MPa}$	0 分
未熔合/夹渣	10 分	按 GB/T 42401 缺陷分级，渗透+磁粉+超声联合检测	无任何未熔合/夹渣	10 分
			存在单个 $\leq 1\text{mm}$ 夹渣且数量 ≤ 3 处	6 分

二级指标	满分	评分原则	详细规则	
			存在未熔合（任何尺寸）或夹渣 >3 处或 >1mm	0 分
界面冶金结合区宽度	8 分	金相法测量结合区宽度（ μm ）	宽度在 10~30 μm 之间	8 分
			5~10 μm 或 30~50 μm	5 分
			<5 μm 或 >50 μm	0 分

5.4 服役性能

服役性能评分要求见表3：

表 3 服役性能评分要求

二级指标	满分	评分原则	详细规则	
高温摩擦磨损性能	10 分	按 GB/T 43853 球-盘法，400℃ 条件下比磨损率（ $\times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ ）	≤ 3.0	10 分
			3.1~5.0	7 分
			5.1~8.0	4 分
			>8.0	0 分
热疲劳性能	8 分	反复制动温循（200℃↔600℃）50 次后，涂层表面裂纹评级	无裂纹得	8 分
			出现微裂纹（长度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，数量 ≤ 3 条）	5 分
			出现明显裂纹（长度 > 0.5mm 或数量 >3 条）	0 分
剪切强度	7 分	按 GB/T 44990 思路或自制夹具，测值单位 MPa	$\geq 280 \text{ MPa}$	7 分
			250~279 MPa	4 分
			<250 MPa	0 分

5.5 几何与缺陷

几何与缺陷评分要求见表4：

表 4 几何与缺陷评分要求

二级指标	满分	评分原则	详细规则	
涂层厚度	5 分	磁性法 GB/T 4956 或超声波法，设计厚度 $\pm$ 允许偏差	实测厚度在设计值 $\pm 10\%$	5 分
			$\pm 10\% \sim \pm 20\%$	3 分
			超出 $\pm 20\%$	0 分
表面粗糙度（Ra）	5 分	接触式轮廓仪，刹车面 Ra 值（ μm ）	$Ra \leq 1.6 \mu\text{m}$	5 分
			$1.6 < Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$	3 分
			$Ra > 3.2 \mu\text{m}$	0 分
无损检测	5 分	按 TB/T 2980 探伤规	全部合格	5 分

二级指标	满分	评分原则	详细规则	
		程,判定有无层间未结合、裂纹等	存在不影响安全的轻微线性显示(长度 $\leq 2\text{mm}$, 数量 ≤ 2 处)	2 分
			存在层间未结合或裂纹	0 分

6 测试方法

6.1 涂层本体质量

6.1.1 致密度/孔隙率

按GB/T 13298或GB/T 33408中的方法进行测试。

6.1.2 稀释率

按GB/T 33408中的方法进行测试。

6.1.3 截面硬度梯度

按GB/T 42400中的方法进行测试。

6.1.4 单层厚度均匀性

按GB/T 40737中的方法进行测试。

6.2 界面质量

6.2.1 界面结合强度

按GB/T 44990中的方法进行测试。

6.2.2 未熔合/夹渣缺陷分级

按GB/T 42401中的方法进行测试。

6.2.3 界面冶金结合区宽度

按GB/T 13298中的方法进行测试。

6.3 服役性能

6.3.1 高温摩擦磨损

按GB/T 43853中的方法进行测试。

6.3.2 热疲劳

按TB/T 2980中的方法进行测试。

6.3.3 剪切强度

按GB/T 40737中的方法进行测试。

6.4 几何与缺陷

6.4.1 涂层厚

按GB/T 4956与GB/T 11344中的方法进行测试。

6.4.2 表面粗糙度

按GB/T 1031与TB/T 2980中的方法进行测试。

6.4.3 无损检测

按TB/T 2980与GB/T 42401结合的方法进行测试。

7 评价分级与综合判定

7.1 综合评分计算公式

$$S = \Sigma (\text{各单项分相加总和}) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S：综合评分总值；

Σ ：各单项评分相加总和。

7.2 评价等级

评价结果分级见表5：

表 5 评价结果分级

等级	条件
优等品	$S \geq 90$
一等品	$75 \leq S < 90$
合格品	$S > 60$

7.3 关键项否决制

以下任一项不合格，直接判定低于60分，不参与等级评定：

- a) 孔隙率 $> 1.0\%$ （严重疏松）；
- b) 界面结合强度 $< 250 \text{ MPa}$ ；
- c) 存在未熔合或超标夹渣；
- d) 出现贯穿性裂纹或剥落；
- e) 层间未结合或裂纹。

8 评价报告

评价报告应包含以下内容：

- a) 基本信息：评价机构 人员 时间；
- b) 检测条件：测试设备型号、环境温度、测试速度范围、载荷条件等；
- c) 检测结果：各项指标的实测值、平均值、最大偏差，与标准要求的对比；
- d) 评价结论：明确判定等级，标注关键项否决情况；
- e) 附加说明：对热疲劳裂纹分布、连续制动温度变化趋势等工况关联性信息进行记录，为后续使用维护提供参考。

