

T/CAQI

团 体 标 准

T/CAQI XXXX—XXXX

乘用车镁合金电驱动壳体耐腐蚀性评价规范

Corrosion resistance evaluation standard for magnesium alloy electric drive housing
of passenger vehicles

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国质量检验协会 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 基本要求	2
5 盐雾测试	3
6 结果评价	4
7 评价报告	7
附录 A（规范性） 试样划痕的操作规范	1
附录 B（规范性） 有机涂层试样等级评价	3
附录 C（规范性） 无机涂层表面缺陷图示	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。

本文件由华兴中科标准技术（北京）有限公司提出。

本文件由中国质量检验协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

乘用车镁合金电驱动壳体耐腐蚀性评价规范

1 范围

本文件规定了乘用车镁合金壳体表面防腐评价的基础要求,描述壳体的加速腐蚀的盐雾测试试验方法以及评价结果和评价报告。

本文件适用于乘用车镁合金电驱动壳体未涂装状态,以及镁合金表面有涂装状态。其中未涂装状态包含金属化学转化膜、氧化膜。涂装状态包括喷漆、静电粉末、电泳等工艺有机涂层。

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 18590-2025 金属和合金的腐蚀 点蚀评价指南

GB/T 30789.3 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识
第3部分:生锈等级的评定

GB/T 30789.5 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识
第5部分:剥落等级的评定

GB/T 30789.8 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识
第8部分:划线或其它人造缺陷周边剥离和腐蚀等级的评定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

转化膜 conversion coating

由金属或其腐蚀产物与溶液中的组分发生反应而形成保护性膜的表面防护方法。

3.2

有机涂层 organic coating

采用静电吸附、电泳、喷漆等工艺在镁合金表面形成的一层非金属材料涂层,然后经过烘烤或自然风干固化,该涂层可以是一层或多层复合,一般采用环氧、聚酯等非金属材料。

3.3

腐蚀宽度 corrosion width

样板上,丝状腐蚀、泡状腐蚀或其它形式的单个相对独立的腐蚀形貌,对于独立腐蚀特征,是指垂直腐蚀长度的最大宽度;对于划痕腐蚀试验,是指平行划痕线方向腐蚀的平均尺寸。

3.4

腐蚀深度 corrosion depth

受腐蚀的金属表面某一点与其原始表面间的垂直距离。

3.5

丝状腐蚀 silky corrosion

发生在镁合金转化膜、电泳、色漆、清漆或相关产品涂膜下的形状为丝状的一种腐蚀,呈细丝状不规则分布,一般从涂膜的切割边缘或局部损伤处开始产生。

3.6

灰状物 powdered substance

腐蚀过程中生成的氢氧化镁[Mg(OH)₂]或碳酸镁(MgCO₃)等腐蚀产物,这些产物自身不稳定或疏松,且逐渐在镁合金表面堆积,形成的灰色蓬松絮状的结构。一般伴随点状腐蚀产生。

3.7

涂层起泡 coating blistering

指零件基材腐蚀过程中涂层局部与基层或下层涂料失去附着力，形成凸起的气泡。

3.8

涂层剥落 coating spalling

指涂层表面受到腐蚀影响，导致涂料的成膜物质出现碎裂以及部分脱落的现象。

4 基础要求

4.1 试验溶液要求

4.1.1 本文件所用试剂采用分析纯或分析纯以上的试剂，溶剂采用蒸馏水或去离子水。

4.1.2 本文件所配置的盐溶液为5%氯化钠溶液，pH值为6.5~7.2。

注：pH值的测量应在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，用pH计测量。

4.1.3 溶液在使用前应进行过滤，以避免溶液中的固体物质堵塞设备喷嘴。

4.1.4 用过的喷雾溶液应不重复使用。

4.2 试验箱要求

4.2.1 试验箱材料要求

用于制作试验设备的材料应抗盐雾腐蚀，不应影响实验结果。即材料本身不能和测试溶液发生化学反应，设备材料和被测件之间应有效防护，使之不存在腐蚀电位差，避免设备和被测件之间形成电偶腐蚀影响腐蚀结果。

4.2.2 试验箱的容积

试验箱的容积应不小于 0.4 m^3 。被测件放入盐雾箱后，确保被测件与盐雾箱侧壁距离大于 0.2 m 。因为较小的容积难以保证盐雾沉降的均匀性。

4.2.3 喷雾装置

用于喷雾盐溶液的装置包含控制压力和湿度的洁净空气供应器、装喷雾溶液的存储器和一个或多个雾化喷嘴。

供应给雾化器的压缩空气应先通过过滤器，以去除所有痕量的油或固体物质，并且雾化压力应在 $70\text{ kPa}\sim 170\text{ kPa}$ 的过压范围内。压力应为 $98\text{ kPa}\pm 10\text{ kPa}$ 。

为了防止喷雾小滴的水分蒸发，空气在进入雾化器前应通过温度高于试验箱温度 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的含有热蒸馏水或去离子水的饱和塔进行加湿。适宜的温度取决于所使用的压力和喷雾器喷嘴的类型，并且应调节温度使试验箱中的喷雾收集速率和所收集喷雾的浓度保持在规定的范围（速率见4.2.5，浓度见4.1.2）内。

4.2.4 盐溶液收集器

应提供至少两个适宜的收集装置，包括由化学惰性材料制成的漏斗，带有刻度的圆底塑料瓶或其他类似容器，容器材料同样为化学惰性材料。适宜的漏斗直径为 100 mm ，约为 80 cm^2 的收集面积。该收集装置应置于试验样本在喷雾试验箱中所放置的区域内，一个靠近喷雾的入口，另一个则远离入口。这样以便仅收集喷雾，而不收集从样本或从试验箱部分流出的液体。

4.2.5 盐雾沉降量

通过雾化喷嘴喷出的盐溶液，喷雾量可调，且均匀沉降在试样上。 80 cm^2 的水平收集面积的平均收集速度： $1.0\text{ mL/h}\sim 2.0\text{ mL/h}$ 。

4.2.6 加热系统温控要求

试验箱的加热系统应满足在试验的不同阶段，箱内温度达到并保持 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $35\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $50\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温控范围及精度要求。温度测量区距箱内壁应不小于 100 mm 。

4.2.7 盐雾箱腐蚀性能要求

4.2.7.1 检验试验箱设备或不同实验室同类设备试验结果的重现性，设备应符合 4.2.1~4.2.6 的要求。

4.2.7.2 在固定的操作中，评价试验箱腐蚀性能的合适时间间隔宜为 1 个月。

4.2.7.3 采用钢参比试样确定试验的腐蚀性。经 48h 试验后，每块参比试样的质量损失在 $70\text{g}/\text{m}^2 \pm 20\text{g}/\text{m}^2$ 范围内说明设备运行正常。

4.2.8 盐雾箱其他要求

4.2.8.1 镁合金零件或总成测试时，盐雾箱内不得放入其他种类被测零件（总成上安装零件除外），防止影响测试结果。

4.2.8.2 如果前期盐雾箱用于测试含有铁、铜等元素金属，盐雾箱需要清洗干净。

4.2.8.3 如果盐雾箱前期用于进行硫酸铜加速腐蚀或者酸性盐雾腐蚀试验，盐雾箱需要彻底清洗干净。

4.3 被测样件

4.3.1 样件要求

4.3.1.1 用于循环腐蚀试验的试样，其类型、数量、形状和尺寸可商定。

4.3.1.2 除特殊说明，试验前试样应彻底清洗干净，清洗方法取决于试样材料性质，清洗试样表面及其污物的过程，不应采用可能浸蚀试样表面的磨料或溶剂。试样清洗后应注意避免再次污染。

4.3.1.3 对于涂装样件或零件，需要在表面区域进行划线，划线方法参考附录 A。

4.3.2 样件放置要求

样件放置应符合下列要求：

- 试验前，应在试验箱内空置或装满模拟试样，并确认试验条件在规定范围内后，才能将试样置于试验箱内并开始试验；
- 试样表面在试验箱中的放置角度非常重要。在试验箱中，若试样是平板试样，则被试表面与垂直方向成 $15^\circ \sim 25^\circ$ ，并尽可能与垂直方向成 20° 。若试样是零件，尽量与实际产品安装后状态保持一致。
- 试样支架用惰性的非金属材料制成。悬挂试样的材料不应用金属，应用人造纤维、棉纤维或其他绝缘材料；
- 试样宜放置在箱内不同水平面上，但不应接触箱体，试样间也不应相互接触。试样间的距离不应影响箱体内盐雾自由降落在被试表面上。试样或其支架上的液滴不应落在其他试样上。

5 盐雾测试

5.1 测试步骤

5.1.1 样件按整车安装状态放置于循环盐雾箱内，每个试验循环包括：重复进行四次 a 盐雾喷射 2 h + b 湿热存储 22h，然后在 c 标准大气下存储 72h，即单个循环 $[(a+b) \times 4 + c]$ 时间为 7 天。单个循环试验顺序及参数按表 1 所示。

表 1 单个循环试验顺序及参数要求

测试编号	试验阶段	时间/h	温度/ $^\circ\text{C}$	湿度/%	备注
a	盐雾喷射	2	35 ± 2	无要求	共进行4次循环
b	湿热储存	22	40 ± 2	93 ± 3	
c	标准大气下储存	72	23 ± 2	50 ± 5	/

注：从c标准大气下存储到a盐雾喷射阶段转化时间小于30 min，其余各个阶段之间转化时间不大于2 h。

5.1.2 试验过程检查：第 1 个大中，包含 4 个小循环和一个存储周期，小循环 a 盐雾喷射 + b 湿热存储为 24 h，每 24 h 进行检查外观并拍照 1 次，一共拍照 4 次，完成一整个循环 $[(a+b) \times 4 + c]$ 后再检查拍照 1 次。随后的周期测试只需要在完成单次整循环 $[(a+b) \times 4 + c]$ 后检查拍照。

5.1.3 试验完成后 30 min 内，用不超过 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 的流动的水（自来水、蒸馏水或脱盐水）清洗壳体表

面 5 min, 样件表面水滴使用压缩空气清除。清洗方法详细参考 5.4 节。

5.1.4 样机在室温下储存 1 h~2 h 后进行检查及测试。

5.2 未涂装镁合金零件测试周期

1个完整试验循环时间为168 h, 对于未涂装镁合金零件或总成, 推荐至少完成2个完整周期试验, 可根据需求增加测试周期数量。在48 h、96 h和试验周期末分别进行表面式样检查。并记录腐蚀形貌。可视试样腐蚀情况, 按5.4清洗试样表面。过程中不应破坏试样表面。

5.3 涂装镁合金零件测试周期

5.3.1 1个试验循环时间为168 h。试验总时间应根据被测试材料或产品的相关技术要求, 商定解决。

5.3.2 推荐的试验周期为336 h、504 h、672 h。在规定的试验周期内宜不中断试验, 只有需要短暂观察试样时, 才能打开试验箱, 开箱检查的时间与次数应尽可能少。

5.3.3 如果试验终止取决于开始出现腐蚀的时间, 每个循环结束都应检查试样, 根据检查情况终止试验。这些试样不能同预定了试验周期的试样一起试验。

5.3.4 可定期目视检查预定试验周期的试样表面, 宜168 h检查一次试样表面。可视试样腐蚀情况, 按5.4清洗试样表面。过程中不应破坏试样表面。

5.4 试验后处理

将样板从试验箱中取出后, 清除表面的灰状物, 然后用温度不高于30℃的清洁流动的水冲洗试样表面的盐渍以及腐蚀生成的灰状物。接着在距离试样约300 mm处用清洁的压缩空气立即吹干试样, 压缩空气气压不得大于200 kPa。然后对表面缺陷进行测量、记录, 缺陷样式参考附录C。

6 结果评价

6.1 转化膜镁合金腐蚀程度评定方法

6.1.1 表面腐蚀形貌评定方法

表面腐蚀形貌评定方法如下:

- 目视评定: 使用目测或放大镜观察镁合金表面, 记录锈蚀情况;
- 腐蚀图像识别技术: 使用图像识别软件分析镁合金零件表面的锈蚀情况, 以及腐蚀面积占比。

6.1.2 镁合金零件表面锈蚀深度评定方法

镁合金零件表面锈蚀深度评定方法如下:

- 锈蚀深度测量技术: 采用点蚀深度测量仪测量点蚀深度, 方法见 GB/T 18590-2025 中 4.2.3;
- 腐蚀图像识别技术: 使用图像识别软件计算分析镁合金零件表面的锈蚀深度。

6.1.3 未涂装镁合金腐蚀程度分级方法

6.1.3.1 腐蚀面积比例分级

将点状腐蚀、丝状腐蚀, 均算入腐蚀面积。镁合金钝化颜色变化(无腐蚀深度)不作为腐蚀评判。腐蚀评级与缺陷面积关系见表2。

表2 腐蚀评级与缺陷面积关系

腐蚀面积评级等级	腐蚀缺陷面积A/%
0	无缺陷
1	$A \leq 0.1$
2	$0.1 < A \leq 0.25$
3	$0.25 < A \leq 0.5$
4	$0.5 < A \leq 1$
5	$1 < A \leq 2.5$
6	$2.5 < A \leq 5$

表2 腐蚀评级与缺陷面积关系（续）

腐蚀面积评级等级	腐蚀缺陷面积A/%
7	$5 < A \leq 10$
8	$10 < A \leq 25$
9	$25 < A \leq 50$
10	$A > 50$

6.1.3.2 局部腐蚀深度分级

以镁合金表面局部腐蚀深度为标准的镁合金腐蚀等级评定见表3。

表3 镁合金腐蚀深度等级

腐蚀深度评级等级	腐蚀缺陷最大深度D/mm
0	无缺陷
1	$D \leq 0.1$
2	$0.1 < D \leq 0.5$
3	$0.5 < D \leq 1$
4	$1 < D \leq 1.5$
5	$D > 1.5$

注：6.1.1、6.1.2、6.1.3中缺陷样式参考附录C。

6.1.3.3 结果评级

镁合金金属基体上金属和其他无机覆盖层在完成四次盐雾喷射+湿热共96小时后，推荐表面质量满足0级~4级，腐蚀深度等级至少满足0级~3级。完成两个周期336小时循环表面质量等级5级~10级，腐蚀深度等级0级~4级。多个完整周期后，表面腐蚀评级不做考核，腐蚀深度满足4级，总成功能为A级。

6.2 涂装镁合金腐蚀程度分级方法

6.2.1 表面涂层起泡密度和大小等级

有机涂层的起泡等级用起泡的密度和起泡的大小表示。起泡密度的评级应按GB/T 30789.2执行，起泡密度等级见表4，起泡大小等级见表5。缺陷等级参考附录B进行评估。

表4 起泡密度等级

等级	起泡密度
0	无泡
1	很少，单零件1~2个泡
2	少量泡
3	有中等数量的泡
4	有较多的泡
5	密集型泡

表5 起泡大小等级

等级	起泡大小（直径）
S0	10倍放大镜下无可见的泡
S1	10倍放大镜下才可见的泡
S2	正常视力下刚可见的泡
S3	$< 0.5 \text{ mm}$ 的泡
S4	$0.5 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm}$ 的泡
S5	$> 5 \text{ mm}$ 的泡

6.2.2 锈蚀等级的检测与评定

总成的锈蚀等级用表面有机涂层的锈蚀点（斑）数量（见表6）和锈蚀点大小（见表7）表示镁合金有机涂层剥落面积的评级应按GB/T 30789.3执行。缺陷等级参考附录B进行评估。

表6 锈蚀等级与表面有机涂层的锈蚀点（斑）数量

等级	锈蚀状况	锈蚀点（斑）数量（个）
0	无锈点	0
1	很少，几个锈点	≤5
2	有少量锈点	6~10
3	有中等数量锈点	11~15
4	有较多数量锈点	16~20
5	密集型锈点	>20

表7 锈蚀等级与表面有机涂层的锈蚀点（斑）大小

等级	锈点大小（最大尺寸）
S0	10倍放大镜下无可见的锈蚀点
S1	10倍放大镜下才可见的锈蚀点
S2	正常视力下刚可见的锈蚀点
S3	<0.5 mm的锈蚀点
S4	0.5 mm~5 mm的锈蚀点
S5	>5 mm的锈蚀点（斑）

6.2.3 剥落等级的评定

镁合金零件有机涂层剥落的等级用有机涂层剥落量和剥落暴露面积的大小（见表8、9）表示。镁合金有机涂层剥落面积的评级应按GB/T 30789.5执行。缺陷等级参考附录B进行评估。

表8 剥落量等级

等级	剥落面积/%
0	0
1	0.1
2	0.3
3	1
4	3
5	15

表9 剥落面积的大小等级

等级	剥落大小（最大尺寸）
S0	10倍放大镜下无可见剥落
S1	≤1 mm ²
S2	≤3 mm ²
S3	≤10 mm ²
S4	≤30 mm ²
S5	>30 mm ²

注：剥落等级的评定表示方法：剥落面积的等级和剥落大小的等级（加括号）。如：剥落3（S2），表示剥落面积为3级，剥落大小为S2级。

6.2.4 划线或其它人造缺陷周边剥离和腐蚀等级的评定

镁合金有机涂层划线腐蚀评级应按GB/T 30789.8进行腐蚀宽度测量，并依据标准图谱或计算公式给出划线区域腐蚀等级。缺陷等级参考附录B进行评估。

6.2.5 结果评价

按镁合金有机涂层盐雾测试过程中单项破坏等级评定涂层抗腐蚀程度的综合等级，分为0/1/2/3/4/5共六个等级，分别代表涂层耐腐蚀性能的优、良、中、可、差、劣，见表10。

镁合金有机涂层经过盐雾测试后，推荐防腐能力要满足优、良水平。

表 10 涂层耐腐蚀程度的综合等级

综合等级	单项等级			
	起泡	锈蚀	剥落	划线腐蚀
0	0	0	0	0
1	1 (S1)	1 (S1)	0	0~1
2	5 (S1) 或2 (S2) 或1 (S3)	1 (S2)	1 (S1)	1~2
3	3 (S2) 或2 (S3)	2 (S2) 或1 (S3)	2 (S2)	2~3
4	4 (S3) 或3 (S4)	3 (S2) 或2 (S3)	3 (S3)	3~4
5	5 (S3) 或4 (S4)	3 (S3) 或2 (S4)	4 (S4)	4~5

7 评价报告

7.1.1 试验报告应写明采用的评价标准和得到的试验结果。如供需双方需要，应提供每个试样的试验结果，每组相同试样的平均试验结果和试样的照片。

7.1.2 根据试验目的及要求，试验报告至少包括如下内容：

- a) 本文件号和所参照的有关标准；
- b) 试验使用的盐和水的类型；
- c) 被试材料或产品的说明；
- d) 试样的尺寸、形状、试样面积和表面状态；
- e) 试样的制备，包括试验前的清洗和对试样边缘或其他特殊区域的保护措施；
- f) 覆盖层的已知特征及表面处理的说明；
- g) 试样数量；
- h) 试验后试样的清洗方法，如有必要，应说明由清洗引起的失重；
- i) 试样放置角度；
- j) 试样位移的频率和次数；
- k) 试验周期以及中间检查结果；
- l) 为了检查试验条件的准确性，特地放在试验箱内的参比试样的性能；
- m) 被测样件腐蚀评价结论。

附录 A (规范性) 试样划痕的操作规范

A.1 刀具

建议使用如图A.1所示的划痕工具，刀片厚度为1.0 mm或0.5 mm。划伤后的涂层断面为矩形切口，图片A.2能看出涂层划伤很完整。



图 A.1 划痕工具

A.2 直尺

任何一种足够长度且坚固的直尺，以用于划痕工具做划痕操作的引导。

A.3 胶带

使用耐水胶带，用于封边处理。

A.4 划痕要求

A.4.1 标准试样：

- a) 划痕距试板边缘和划痕间的距离应至少为 25 mm。在试样上作两条划痕，划痕应透过涂层达到金属底材。竖划痕的长 80 mm，横划痕长 50 mm。在试验箱中摆放样板时，请注意将长度为 80 mm 的划痕置于上方。划线间距应大于 12.5 mm。划痕位置示意图见图 A.2；
- b) 统一划至金属底材；
- c) 样件划痕后，至多间隔 1 h 即投入相关的腐蚀试验。

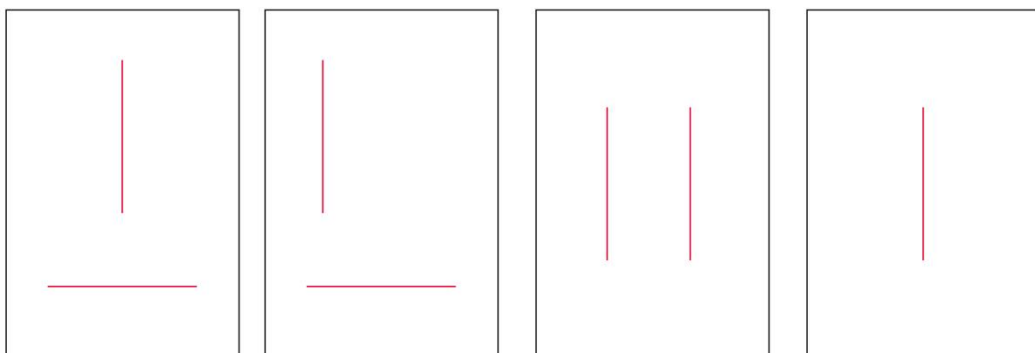


图 A.2 标准样板划痕示意图

A.4.2 零件:

- a) 划痕距零件边缘至少为 25 mm，划痕长度 80 mm，划痕数量视需求而定；
- b) 统一划至金属底材；
- c) 样件划痕后，至多间隔 1 h 即投入相关的腐蚀试验。



图 A.3 零件划痕示意图

附录 B
(规范性)
有机涂层试样等级评价

对于6.2.1~6.2.4章节中的缺陷等级参考图B.1、B.2、B.3、B.4进行评估。

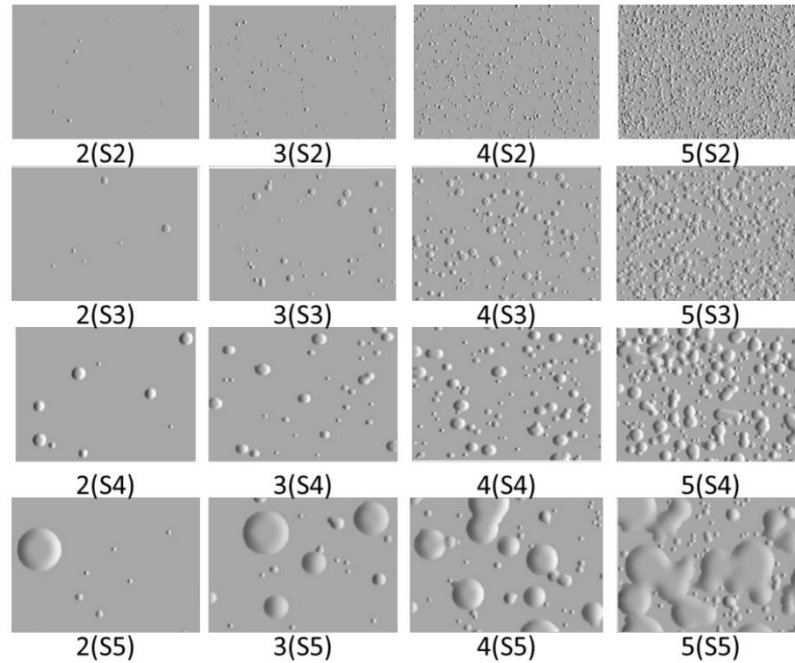


图 B.1 起泡

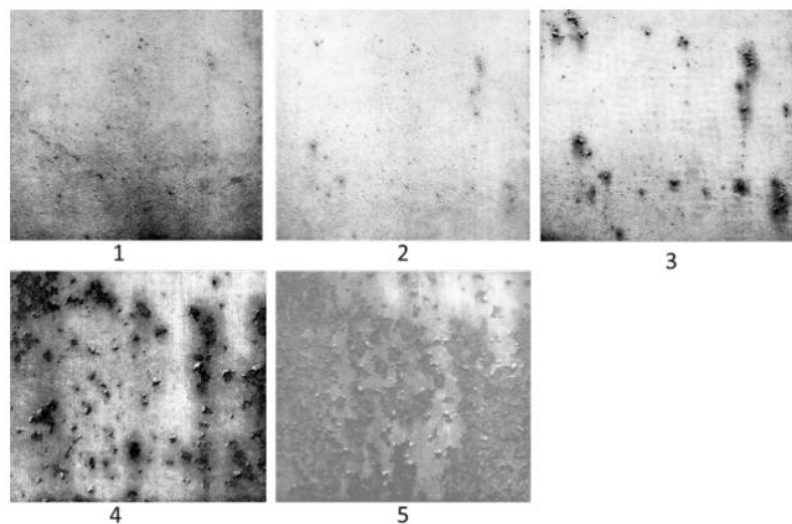


图 B.2 锈蚀

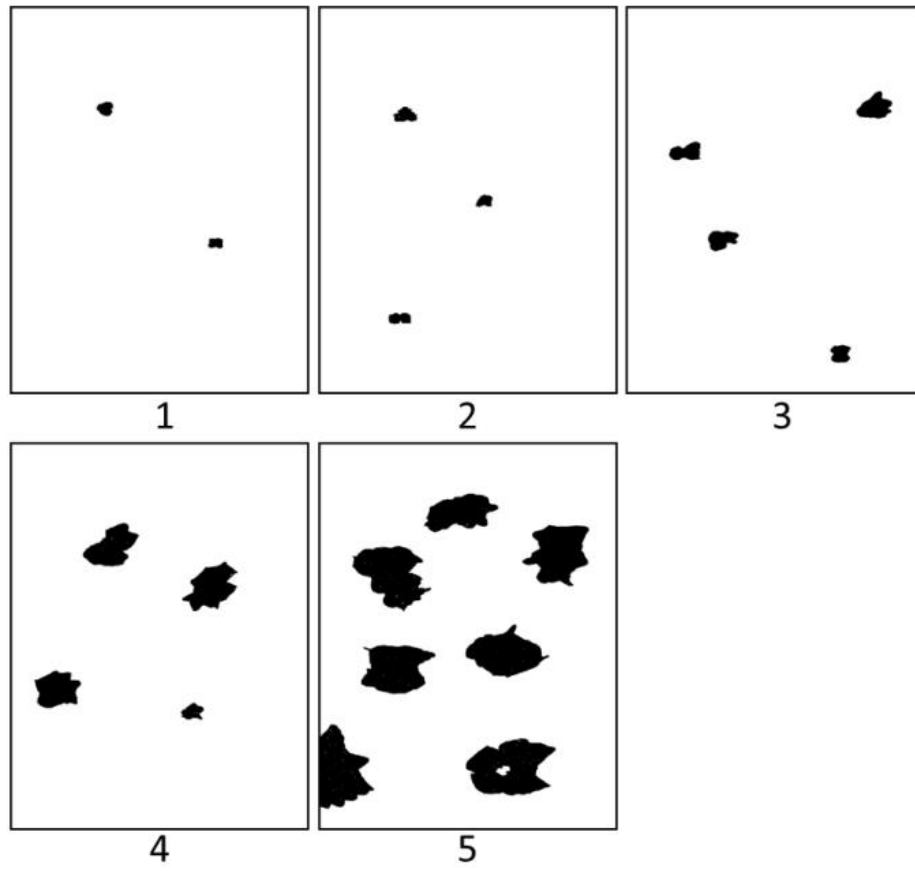


图 B.3 剥落密度


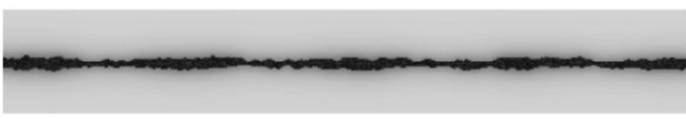
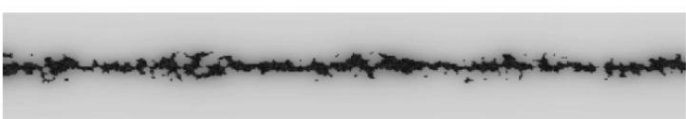
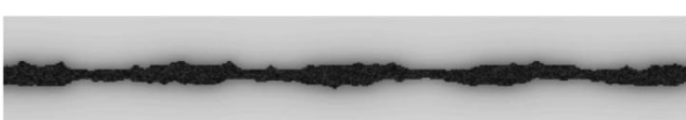
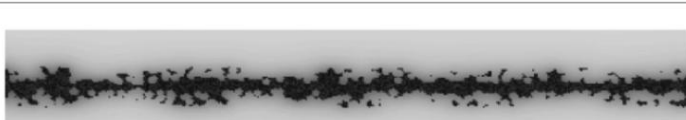

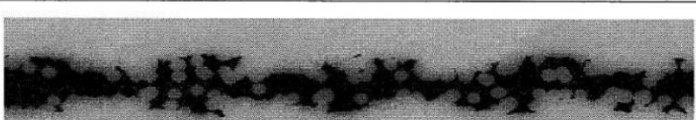
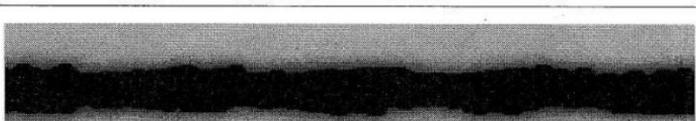
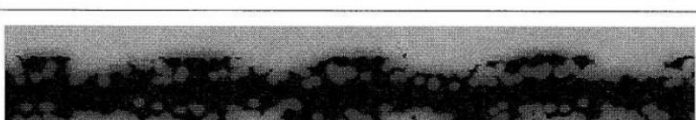
	等级 1——很轻微
	等级 2——轻微
	
	等级 3——中等
	
	等级 4——较大
	
	等级 5——严重
	

图 B.4 划线腐蚀

附录 C
(规范性)
无机涂层表面缺陷图示

对于5.4, 6.1.1~6.1.3章节中的缺陷参考如下图C.1、C.2、C.3。

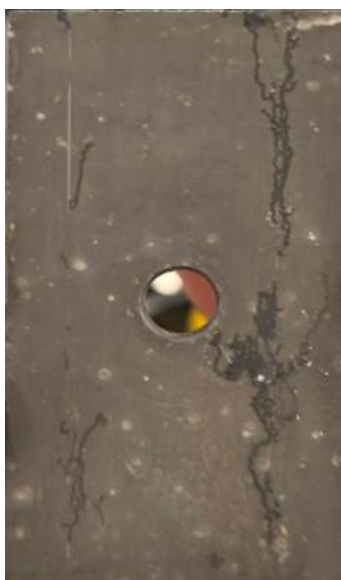


图 C.1 丝状腐蚀



图 C.2 点状腐蚀



图 C.3 灰状物
