

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2022

轨道交通车辆用 $6\times\times\times$ 铝合金材料晶间 腐蚀测试方法

Testing method for intergranular corrosion of $6\times\times\times$ aluminum alloys in rail transit
vehicles

(征求意见稿)

(本稿完成日期：2022 年 9 月 20 日)

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

中国交通运输协会 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 方法概述 2

5 试剂 2

6 仪器设备 2

7 制样 3

8 晶间腐蚀试验 5

9 晶间腐蚀结果测定 6

10 腐蚀评级 7

11 试验报告 8

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。

使用本文件的人员应有正规实验室工作的实践经验。本文件并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法规规定的条件。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：[中车工业研究院有限公司](#)、中南大学、北京工业大学、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、中车唐山机车车辆有限公司、中车株洲电力机车有限公司、广西南南铝加工有限公司、东北轻合金有限责任公司。

本文件主要起草人：李明高、孙梅玉、陈朝中、章潇慧、邓运来、郭晓斌、孙琳、张仁航、孙晓红、高军、王大臣、吴志明、王宇、龚兰芳、黄晖、魏午、卢刚、高新宇。

轨道交通车辆用 6××× 铝合金材料晶间腐蚀测试方法

1 范围

本标准规定了轨道交通车辆用6×××（如6008/6005A/6060/6082）铝合金产品的晶间腐蚀测试方法，从试验条件、试剂、仪器设备、制样、晶间腐蚀试验、晶间腐蚀结果测定、腐蚀评级、试验报告等方面规范了轨道交通车辆用6×××铝合金材料的晶间腐蚀测试方法。

本标准适用于以6×××铝合金为原材料的关键结构件的抗晶间腐蚀性能评价，使用对象主要为轨道交通车辆相关的铝合金材料厂家及主机企业，其他企业可参照执行。

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 19501 微束分析 电子背散射衍射分析方法通则

GB/T 36174 金属和合金的腐蚀 固溶热处理铝合金的耐晶间腐蚀性的测定

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 7998 铝合金晶间腐蚀测定方法

JJF 1914 金相显微镜校准规范

JJF 1916 扫描电子显微镜校准规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 晶间腐蚀 Intergranular corrosion

沿着金属晶粒边界或晶界附近发生的腐蚀现象。

[来源：GB/T 7998-2005，3.1.1]

3.2 深度法 The Depth Standard

通过测量试样晶间腐蚀后的最大腐蚀深度来评价晶间腐蚀等级的方法。

3.3 电子背散射衍射 Electron Backscattered Diffraction (EBSD)

当入射电子束照射到高倾斜的晶体样品时,其背散射电子与原子面发生的衍射。

[来源:GB/T 19501-2013, 3.1]

3.4 二次电子像 Secondary Electron Image

扫描电镜下反映样品表面形貌的电子像,通常只反映样品表面10nm左右的形貌。

4 方法概述

将6×××铝合金试样放置在特定试验溶液中一定时间,加速合金晶粒边界或晶界附近的腐蚀,借助金相显微镜或扫描电镜测定腐蚀试验后试样的腐蚀深度,并与未腐蚀状态的试样或产品表面对比,确立其晶间腐蚀深度的评级结果。

5 试剂

5.1 除非另有说明,仅使用确认为分析纯的试剂和符合 GB/T 6682-2008 规定的三级水。

5.2 腐蚀介质

氯化钠和盐酸混合溶液:将 $30.0\text{g} \pm 0.1\text{g}$ 氯化钠置于烧杯中,加入1L蒸馏水混合均匀,再加入10mL盐酸($\rho 1.19\text{g/mL}$)混合均匀。

5.3 无水乙醇

无水乙醇(体积分数99.5%以上)。

5.4 氢氧化钠溶液

氢氧化钠溶液(100g/L)。

5.5 硝酸

硝酸($\rho=1.4\text{g/cm}^3$)。

6 仪器设备

6.1 金相(光学)显微镜

应符合JJF 1914-2021的要求,并配置带0.1mm分刻度板的目镜测微尺(或与目镜一体),放大倍数宜为100倍~500倍。

6.2 扫描电子显微镜

应符合JJF 1916-2021的要求，测长示值误差不超过±5%，正交畸变不超过0.5°，线性失真度<10%。

6.3 超声波清洗机

工作频率30KHz~60KHz。

7 制样

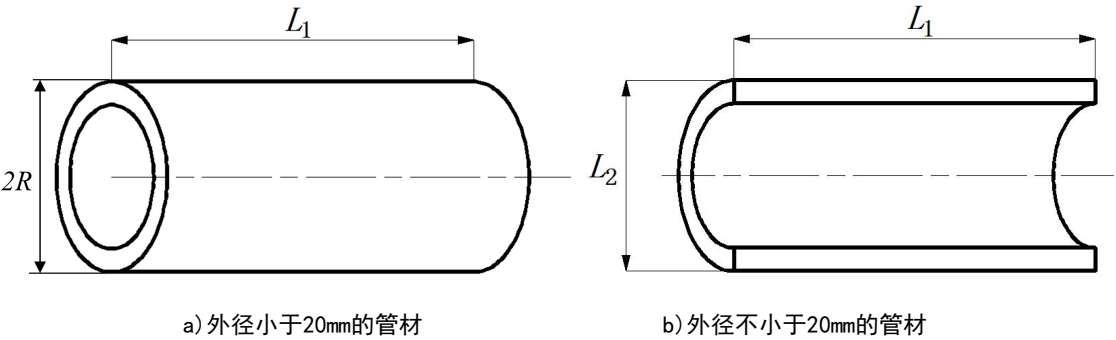
7.1 取样

试样类型、尺寸及数量参照GB/T 36174-2018，应符合表1要求。

表 1 试样类型、尺寸及数量

产品类型	产品尺寸 mm		试样类型	试样尺寸 mm			试样数量
				长度 (L_1)	弦长 (L_2) /宽 (b_1)	厚 (H_1)	
圆管	外径 (2R)	< 20	全截面试样, 见图1 a)	40±3	—		≥3个平行 试样
≥20		弧形试样, 见图1 b)	20±3		—		
圆棒及圆线		< 15	全截面试样, 见图2 a)		—		
		15 ~ 40	1/4截面弧形试样, 见图2 b)		—		
		> 40	弧形试样, 见图2 c)				
板材、带材、 型材、矩形管、 正多边形管、 矩形棒、正多 边形棒、锻件	所有		矩形试样, 见图3		25±3	10±3	

注 1：受限于样品尺寸，导致试样尺寸无法满足表 1 中规定时，应采用所能截取的实际尺寸试样进行试验。

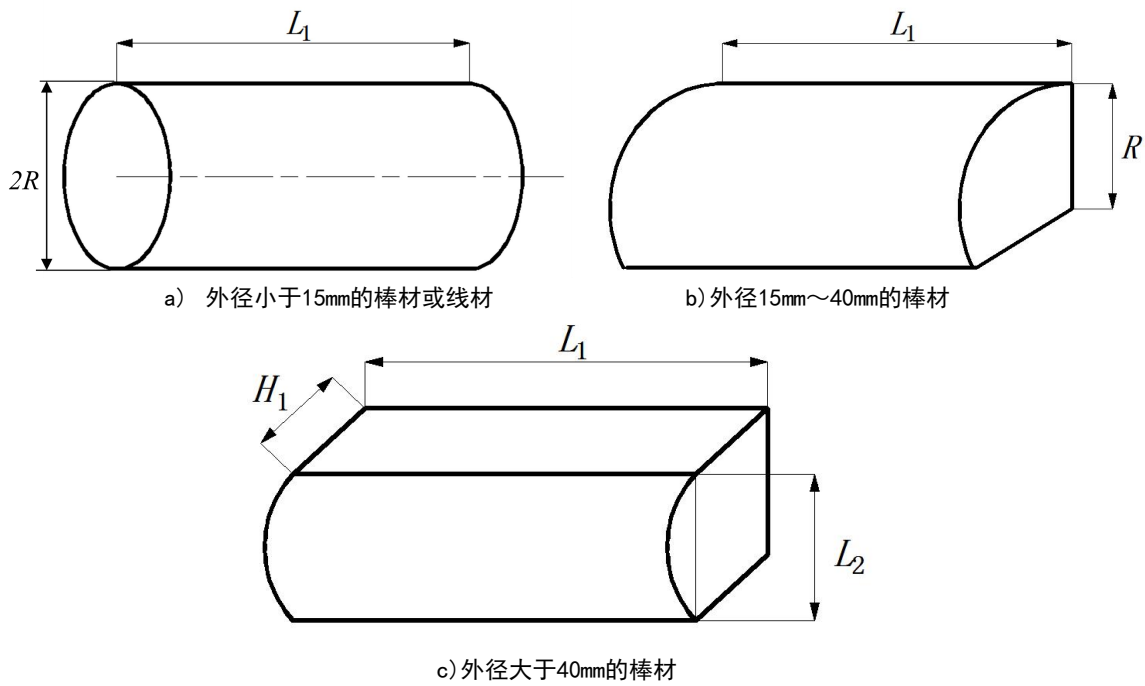


标引序号说明:

L_1 ——试样的长度;

L_2 ——试样的弦长。

图 1 管材试样示意图



标引序号说明:

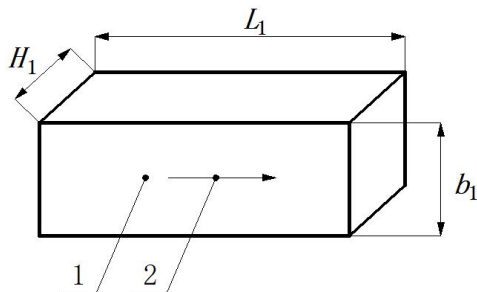
L_1 ——试样的长度;

R ——棒材的半径;

L_2 ——试样的弦长;

H_1 ——试样的厚度。

图 2 棒材或线材试样示意图



标引序号说明:

L_1 ——试样的长度;

b_1 ——试样的宽度;

H_t ——试样的厚度；

1——样品的原始表面；

2——样品的主变形方向。

图3 板材、带材、型材及锻件试样示意图

7.2 试样预处理

待腐蚀试样的表面粗糙度 R_a 应不大于 $1.6\mu\text{m}$ ，用乙醇去除打磨后样品的表面油污；在氢氧化钠溶液中浸泡 10min 后，用硝酸将样品表面洗至光洁，取出试样，用蒸馏水洗净。除待腐蚀表面外，其他表面用松香包覆，备用。

8 晶间腐蚀试验

8.1 试样放置

试样应完全浸没于试验溶液中，上端距试液界面不小于25mm，且待腐蚀表面不与容器接触，浸入到5.2所述的试剂中（见图4），试样表面积与试验溶液体积间的比值应小于 $20\text{mm}^2/\text{mL}$ 。



图4 试样放置示例图

8.2 试样腐蚀

8.2.1 常规腐蚀

高Mg、Si含量的合金（如6082合金）建议选用常规腐蚀试验，温度条件为恒温 $35^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$ ，试验温度由恒温设备控制，腐蚀时间为48h。

8.2.2 加速腐蚀

低Mg、Si含量的合金（如6005A，6008和6060合金）建议选用加速腐蚀试验，温度条件为恒温 $50^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$ ，试验温度由恒温设备控制，腐蚀时间为24h。

8.3 腐蚀后处理

试验结束后取出试样，取出腐蚀深度法试样，用水冲洗、晾干或用洁净的压缩空气吹干。

9 晶间腐蚀结果测定

9.1 将深度法腐蚀过后的样品沿垂直主变形方向切开，对切取的横截面进行打磨抛光。

9.2 将打磨抛光后的试样浸入无水乙醇，超声波清洗3~5分钟。

9.3 清洗干燥后的试样置于金相显微镜下测量其最大腐蚀深度。

9.4 深度法试验结果以 μm 表示。

9.5 试验结果分为无晶间腐蚀（典型照片如图 5、图 6 所示）和有晶间腐蚀（典型照片如图 7、图 8 所示）两种。有晶间腐蚀的应根据腐蚀最大深度，按表 2 的规定划分等级。

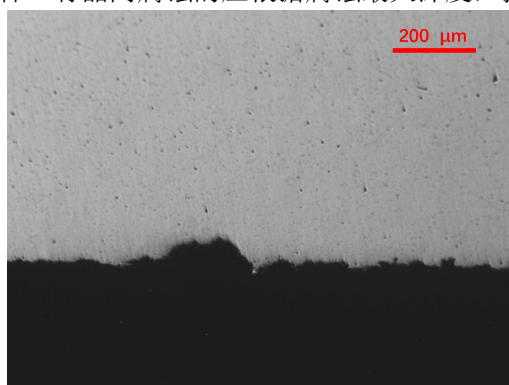


图 5 一般腐蚀

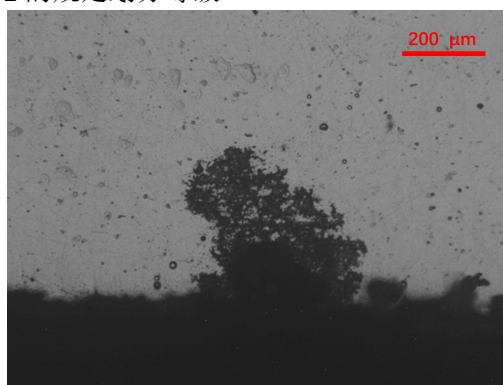


图 6 点蚀

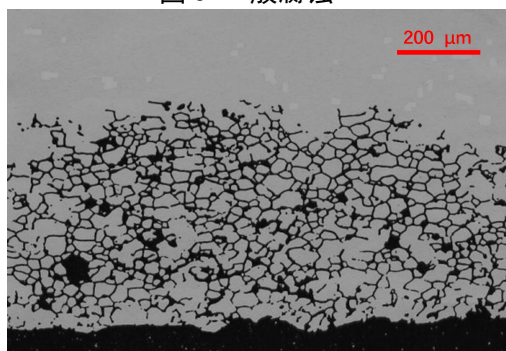


图 7 晶间腐蚀（连续分布）

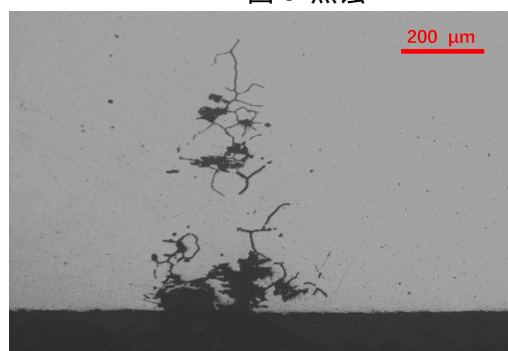


图 8 晶间腐蚀（区域分布）

9.6 若金相显微镜的观察结果出现晶间腐蚀不易分辨的情况（典型照片如图 9 所示），采用扫描电子显微镜进行二次电子像观察，若腐蚀过后的表面，呈现蜂窝状表面状态，既向内扩展也向四周扩展，则为典型的晶间腐蚀（典型照片如图 10 所示）。

9.7 若扫描电镜二次电子像不能分辨腐蚀坑是否沿晶界发生（典型照片如图 11 所示），结合电子背散射衍射下的晶体微区测定，观察腐蚀是否沿着晶间深入，判断腐蚀坑是否为晶间腐蚀深度（典型照片如图 12 所示）。

注：扫描电子显微镜适用于观察使用金相显微镜判定晶间腐蚀结果不稳定的情况。

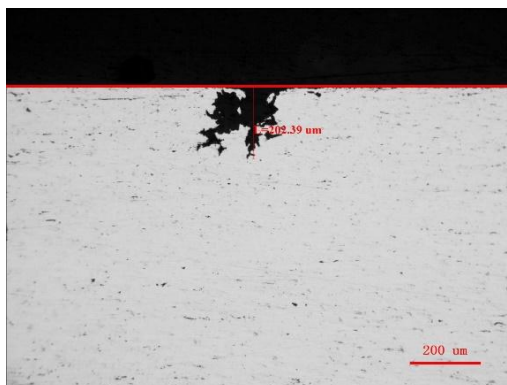


图 9 金相显微镜下 6×××铝合金晶间腐蚀不易分辨的典型照片

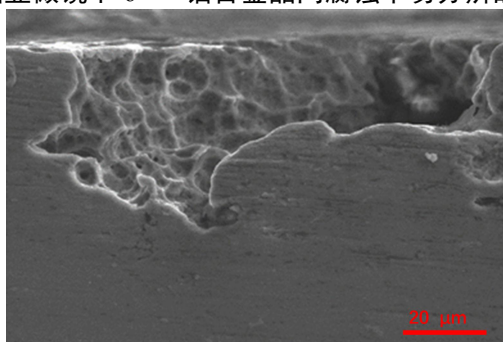


图 10 晶间腐蚀（扫描电镜二次电子像可判定）

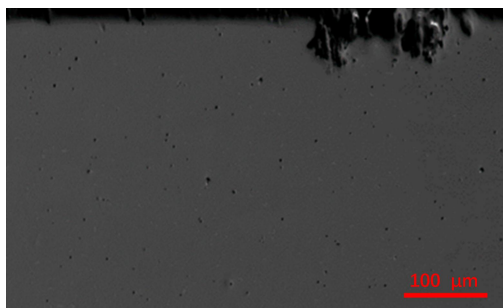


图 11 晶间腐蚀最大深度位置的扫描电镜二次电子像和 EBSD 示例图

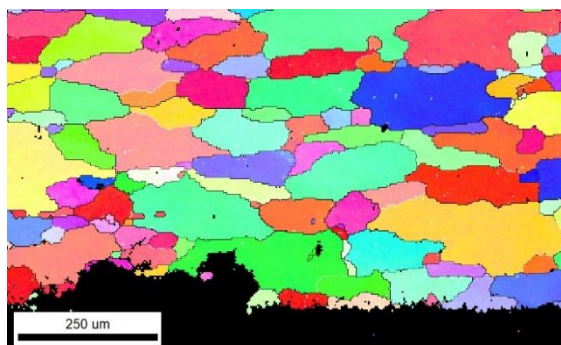


图 12 晶间腐蚀最大深度位置的电子背散射衍射示例图

10 腐蚀评级

6×××铝合金晶间腐蚀的评级见表2。

表2 6×××铝合金晶间腐蚀等级表

级别		晶间腐蚀最大深度d (μm)
1		≤10
2	2.1	10<d≤30
	2.2	30<d≤50
	2.3	50<d≤75
3	3.1	75<d≤100
	3.2	100<d≤150
	3.3	150<d≤200
	3.4	200<d≤250
4		250<d≤300
5		>300

11 试验报告

试验报告应至少包括以下内容：

- a) 合金牌号、化学成分以及处理状态；
- b) 试验条件；
- c) 试样的类型和试样数量；
- d) 试验方法、试验环境和试验时间；
- e) 试验结果（有晶间腐蚀要注明：晶间腐蚀的分布情况、晶间腐蚀的最大深度和等级，必要时附照片）；
- f) 试验中观察到的异常现象；
- g) 其他对试验结果可能产生影响需要注明的情况；
- h) 试验者、审核者、试验日期；
- i) 本文件编号。