

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2022

轨道交通车辆用抗应力腐蚀铝合金材料 过程控制要求

Processing requirements for stress corrosion control of aluminum alloy materials for
rail transit 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 适用产品分类 2

5 制备过程控制 3

6 过程控制要求 5

7 产品抗应力腐蚀性能过程控制报告 7

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：。

本文件主要起草人：。

轨道交通车辆用抗应力腐蚀铝合金材料过程控制要求

1 范围

本文件规定了轨道交通车辆用抗应力腐蚀铝合金材料的适用产品分类、制备过程控制、过程控制要求、产品抗应力腐蚀性能过程控制报告的内容。

本文件适用于轨道交通车辆用抗应力腐蚀5×××、6×××、7×××铝合金材料。其他系列的铝合金产品也可参考本文件。

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 3190 变形铝及铝合金化学成分
- GB/T 7232 金属热处理工艺 术语
- GB/T 7998 铝合金晶间腐蚀测定方法
- GB/T 7999 铝及铝合金光电直读发射光谱分析方法
- GB/T 15970.1 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第1部分：试验方法总则
- GB/T 15970.7 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第7部分：慢应变速率试验
- GB/T 16475 变形铝及铝合金状态代号
- GB/T 17432 变形铝及铝合金化学成分分析取样方法
- GB/T 20975 铝及铝合金化学分析方法
- GB/T 3246.1 变形铝及铝合金制品组织检验方法 第1部分：显微组织检验方法
- GB/T 3246.2 变形铝及铝合金制品组织检验方法 第2部分：低倍组织检验方法
- GB/T 32186 铝及铝合金铸锭纯净度检验方法
- TB/T 3260.1 动车组用铝及铝合金 第1部分：基本要求
- YS/T 591 变形铝及铝合金热处理
- YS/T 600 铝及铝合金液态测氢方法 闭路循环法
- YS/T 1004 熔融态铝及铝合金

3 术语和定义

GB/T 7232 和 GB/T 15970.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

慢应变速率试验 slow strain rate test

评价金属应力腐蚀敏感性的试验，通常在代表性的环境中以恒定位移速率拉伸试样至断裂，然后评价其应力腐蚀敏感性。应变速率一般为 10^{-4}s^{-1} ~ 10^{-9}s^{-1} ，以便选择位移速率。

[来源：GB/T 15970.1，有修改]

3.2

应力腐蚀敏感性因子 sensitivity factor of stress corrosion

表征材料在特定介质中抗应力腐蚀能力大小的一个特征参数，该指数越大，则表明对应试样较高的应力腐蚀断裂敏感性。

4 适用产品分类

4.1 板材

4.1.1 板材的牌号、状态及应力腐蚀敏感性应符合表1的规定。

4.1.2 板材的慢应变速率试验试样取样位置根据板材厚度 t 确定：

a) $t \leq 6\text{mm}$ 时，取样位置由供需双方协商确定；

b) $6\text{mm} < t \leq 12.5\text{mm}$ 时，取样位置选取板材的表层及中心层；

c) $t > 12.5\text{mm}$ 时，取样位置选取板材的表层、1/4层及中心层。

4.1.3 需方需要其他牌号、状态或尺寸的板材时，由供需双方协商确定后在订货单（或合同）中具体注明。

表 1 不同牌号、状态、厚度板材的应力腐蚀敏感性因子

合金牌号	状态代号	厚度 t /mm	应力腐蚀敏感因子 I_{SSRT} /%
5083	0	$2 \leq t \leq 100$	≤ 3
	H111	$2 \leq t \leq 200$	≤ 3
5083	H22 H32 H24 H34	$2 \leq t \leq 25$	≤ 3
	H112	$4 < t \leq 75$	≤ 3
	H321	$4 \leq t \leq 80$	≤ 3
5754	H111	$2 \leq t \leq 100$	≤ 3
6005A	T6	$3 < t \leq 25$	≤ 3
	T651	$6 < t \leq 25$	≤ 3
6082	0	$2 \leq t \leq 25$	≤ 5
	T4	$2 \leq t \leq 150$	≤ 5
	T451		
6082	T6	$2 \leq t \leq 200$	≤ 5
	T651		
	T62		
7005	T4	$t \leq 40$	≤ 5
	T74	$t \leq 40$	≤ 6
	T76		
7020	T4	$2 \leq t \leq 5$	≤ 5
	T6	$2 \leq t \leq 5$	≤ 8
	T651	$6 \leq t \leq 8$	≤ 7
		$10 \leq t \leq 30$	≤ 8
	T74	$2 \leq t \leq 30$	≤ 5
7B05	0	—	≤ 7
	T4	—	≤ 5
	T5		
	T74		
	T6	—	≤ 10

4.2 型材

4.2.1 型材的牌号、状态及应力腐蚀敏感性应符合表2的规定。

4.2.2 型材的慢应变速率试验试样取样位置根据型材厚度 t 确定：

a) $t \leq 6\text{mm}$ 时，取样位置由供需双方协商确定；

- b) $6\text{mm} < t \leq 12.5\text{mm}$ 时, 取样位置选取型材的表层及中心层;
 c) $t > 12.5\text{mm}$ 时, 取样位置选取型材的表层、1/4层及中心层。

4.2.3 需方需要其他牌号、状态或尺寸的型材时, 由供需双方协商确定后在订货单(或合同)中具体注明。

表2 不同牌号、状态、厚度型材的应力腐蚀敏感性因子

合金牌号	状态代号	厚度 t /mm	应力腐蚀敏感因子 I_{SSRT} /%
5083	H112	$4 < t \leq 75$	≤ 3
5754	H112	$2 \leq t \leq 100$	≤ 3
6005A	T4 T6	$2 \leq t \leq 25$	≤ 3
6008	T4 T6	$2 \leq t \leq 10$	≤ 3
6060	T4	$2 \leq t \leq 25$	≤ 4
	T6	$2 \leq t \leq 25$	≤ 5
6082	T6	$2 \leq t \leq 50$	≤ 5
7005	T5	$t \leq 40$	≤ 5
7020	T5	$t \leq 40$	≤ 5
7B05	T4	—	≤ 5
	T5	—	≤ 5
	T6	—	≤ 10

4.3 锻件

- 4.3.1 锻件的牌号、状态及应力腐蚀敏感性应符合表3的规定。
 4.3.2 锻件的慢应变速率试验试样取样位置及取样方法由供需双方协商确定。
 4.3.3 需方需要其他牌号或状态的锻件时, 由供需双方协商确定后在订货单(或合同)中具体注明。

表3 不同牌号、状态锻件的应力腐蚀敏感性因子

合金牌号	状态代号	应力腐蚀敏感因子 I_{SSRT} /%
6082	T6	≤ 5
7050	T4	≤ 8
	T74	≤ 7

5 制备过程控制

5.1 熔铸过程

5.1.1 配料

可添加一级废料, 废料级别的划分方法见YS/T 1004; 宜使用中间合金或铝型添加剂。

5.1.2 熔炼

应控制熔炼温度, 防止熔体过热。

5.1.3 炉内净化

宜进行熔剂保护、合金化保护、气体精炼（氩气或混合气体）、熔体精炼。

5.1.4 炉外在线净化

5.1.4.1 应设置在线除气装备；参照YS/T 600的规定，可采用液态测氢方法测定熔体的氢含量，氢含量要求低于0.15ml/100gAl。

5.1.4.2 应设置在线过滤装备；铸锭的渣含量应符合GB/T 32186中的Ⅱ级要求，可参照6.2.1节，采用低倍组织观察统计氧化膜含量的方式进行测量，离线测渣的含量要求不大于0.07mm²/kg。

5.2 铸锭均匀化过程

应设置铸锭均质炉（温度控制精度±5℃）对铸锭进行均匀化处理，确保铸锭中的枝晶大部分消除，残余结晶相大部分溶解，通过观察均匀化后铸锭的低倍组织来判断是否符合要求。

5.3 晶粒组织控制

受塑性变形过程中变形程度不一的限制，再结晶区域可能会出现包含大晶粒的粗晶层。在不影响型材机械性能及加工性能时允许粗晶层出现，粗晶层厚度要求参照6.2.1节。

5.4 热处理过程

热处理状态的定义按照 GB/T 16475 执行，热处理炉的温度控制精度不超过±5℃，固溶炉宜设置喷淋式淬火装置或水浸式装置；时效炉宜设置鼓风装置，按照 YS/T 591 的要求执行。

6 过程控制要求

6.1 化学成分

6.1.1 化学成分分析方法按照GB/T 7999或GB/T 20975执行，合金元素的含量（质量百分数）除了应符合GB/T 3190和TB/T 3260.1的规定外，还应符合表4的要求。

表 4 化学成分

牌号	化学成分（质量分数） /%													
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	V	Na	其他 ^a		Al
												单个	合计	
5083	≤0.30	≤0.30	≤0.10	0.40~1.00	4.00~4.90	0.05~0.25	≤0.25	≤0.15	—	—	≤0.0007	≤0.05	≤0.15	余量
5754	≤0.30	≤0.30	≤0.10	≤0.50 Mn+Cr:0.10~0.60	2.60~3.60	≤0.30 Mn+Cr:0.10~0.60	≤0.20	≤0.15	—	—	≤0.0007	≤0.05	≤0.15	余量
6005A	0.50~0.90	≤0.25	≤0.30	≤0.50 Mn+Cr:0.12~0.50	0.40~0.70	≤0.30 Mn+Cr:0.12~0.50	≤0.20	≤0.10	—	—	—	≤0.05	≤0.15	余量
6008	0.50~0.90	≤0.25	≤0.30	≤0.30	0.40~0.70	≤0.30	≤0.20	≤0.10	—	0.05~0.20	—	≤0.05	≤0.15	余量
6060	0.30~0.60	≤0.25	≤0.10	≤0.10	0.35~0.60	≤0.05	≤0.15	≤0.10	—	—	—	≤0.05	≤0.15	余量
6082	0.70~1.30	≤0.25	≤0.10	0.40~1.00	0.60~1.20	≤0.25	≤0.20	≤0.10	—	—	—	≤0.05	≤0.15	余量
7005	≤0.24	≤0.30	≤0.10	0.20~0.70	1.00~1.80	0.06~0.20	4.00~5.00	0.01~0.06	0.08~0.20	—	—	≤0.05	≤0.15	余量
7020	≤0.25	≤0.30	≤0.20	0.05~0.50	1.00~1.40	0.10~0.35	4.00~5.00	—	0.08~0.20 Zr+Ti: 0.08~0.25	—	—	≤0.05	≤0.15	余量
7B05	≤0.20	≤0.25	≤0.20	0.20~0.70	1.00~2.00	≤0.30	4.00~5.00	≤0.20	≤0.25	≤0.10	—	≤0.05	≤0.15	余量
7050	≤0.12	≤0.12	2.00~2.60	≤0.10	1.90~2.60	≤0.04	5.70~6.70	≤0.06	0.08~0.15	—	—	≤0.05	≤0.15	余量
^a 其他指表中未列出或未规定数值的元素。														

- 6.1.2 化学成分取样应符合GB/T 17432的规定。
- 6.1.3 铸锭不同部位的化学成分偏析范围应符合表4的规定。
- 6.1.4 提供本炉次、炉前和炉后的分析结果。

6.2 组织

6.2.1 低倍组织

低倍组织的检测按照GB/T 3246.2执行。

6.2.1.1 铸锭低倍组织

6.2.1.1.1 取样

应在铸锭尾部切取尺寸（长×宽×高）为50mm×50mm×150mm或尺寸（直径×高）为Φ50mm×150mm的氧化膜试样坯料，并将其由150mm高墩成厚度30mm的样饼。

6.2.1.1.2 合格性

不出现铸造裂纹；外径≤550mm的圆铸锭氧化膜和夹杂物不多于2个，且单个面积≤0.5mm²；外径>550mm的圆铸锭氧化膜和夹杂物不多于4个，且单个面积≤0.3mm²；扁铸锭不多于4个，且单个面积≤0.4mm²。

6.2.1.2 均匀化铸锭低倍组织

6.2.1.2.1 取样

每铸次至少取2根铸锭，头、尾分别切取1个样坯，其他要求按GB/T 3246.2的规定。

6.2.1.2.2 合格性

不出现GB/T 3246.2中描述的初晶和光亮晶粒，晶粒度不超过1级。

6.2.1.3 板材低倍组织

6.2.1.3.1 取样

应沿着垂直于产品轧制方向切取横向试样坯料，试样坯料宽度宜为30mm，然后将其沿纵向切成若干段。

6.2.1.3.2 合格性

不出现板材分层和夹杂分层，不出现淬火裂纹和纵向裂纹。

6.2.1.4 型材低倍组织

6.2.1.4.1 取样

应在挤压产品尾部沿横向切取低倍试样坯料，其中导流模挤压的产品检查焊缝质量时，还需要在挤压产品的头部切取试样坯料。试样坯料厚度宜为30mm±5mm。粗晶环的检查应在淬火产品切取的试样坯料（或淬火后的试样坯料）上进行。

6.2.1.4.2 合格性

不出现挤压缩尾和挤压裂纹，挤压边缘无分层，不出现焊合不良和淬火裂纹，粗晶层的厚度不能超过表5所规定的值。

表5 塑性变形引起的粗晶层最大允许厚度

材料厚度t/mm	粗晶层允许的最大厚度 /mm
t≤4	2/3t
4<t≤8	1/2t
t>8	2

6.2.1.5 锻件低倍组织

6.2.1.5.1 取样

按技术图纸规定的部位切取试样坯料。

6.2.1.5.2 合格性

不出现锻造裂纹、压折、流纹不顺等缺陷。

6.2.2 显微组织

6.2.2.1 显微组织试验按照GB/T 3246.1执行。

6.2.2.2 夹杂物合格性要求

夹杂物尺寸 $\leq 100\mu\text{m}$ ， $50\sim 100\mu\text{m}$ 的夹杂物不多于10个每平方厘米。

6.2.2.3 热处理组织合格性要求

经固溶热处理后的板材、型材和锻件，显微组织不允许出现过烧。

6.3 抗晶间腐蚀性能

$5\times\times$ 铝合金材料不允许出现GB/T 7998中2级及以上晶间腐蚀； $6\times\times$ 铝合金材料参照T/CCTAS XX—2022《轨道交通车辆用 $6\times\times$ 铝合金材料晶间腐蚀测试方法》进行评价，不允许出现3级及以上晶间腐蚀； $7\times\times$ 铝合金材料不允许出现GB/T 7998中3级及以上晶间腐蚀。

6.4 抗应力腐蚀性能

板材、型材或锻件的慢应变速率试验依照GB/T 15970.7执行。采用应力腐蚀敏感因子 I_{SSRT} 对结果进行评价，抗应力腐蚀性能需满足表1、表2或表3的要求。 I_{SSRT} 计算公式如下。

$$I_{SSRT} = 1 - [\sigma_{fw} \times (1 + \delta_{fw})] / [\sigma_{fA} \times (1 + \delta_{fA})] \quad (1)$$

式中：

σ_{fA} ——试样在惰性环境中的抗拉强度，单位为兆帕（MPa）；

σ_{fw} ——试样在腐蚀环境中的抗拉强度，单位为兆帕（MPa）；

δ_{fA} ——试样在惰性环境中的伸长率；

δ_{fw} ——试样在腐蚀环境中的伸长率。

分析应力腐蚀试样断口，断口应无应力腐蚀特征。试验报告须有 I_{SSRT} 计算值、试样断口分析照片和结论。

6.5 检验结果的判定

6.5.1 任一试样的化学成分不合格时，判该批次（或熔次）不合格。

6.5.2 任一试样的氢含量不合格时，判该批次（或熔次）不合格。

6.5.3 任一试样的渣含量不合格时，判该批次（或熔次）不合格。

6.5.4 任一均匀化后的铸锭试样低倍组织不合格时，判该批次（或炉次）不合格。

6.5.5 任一产品试样的低倍组织不合格时，判该件不合格。

6.5.6 任一产品试样的显微组织不合格时，允许供方复验，合格后交货。

6.5.7 任一产品试样的抗晶间腐蚀性能（含晶间腐蚀评级）不合格时，判该批次不合格；但允许补充时效后重新检验，经检验晶间腐蚀评级合格后交货。

6.5.8 任一产品试样的抗应力腐蚀性能（含应力腐蚀敏感性因子）不合格时，判该批次不合格；但允许补充时效后重新检验抗应力腐蚀性能（含应力腐蚀敏感性因子）和抗晶间腐蚀性能（需方有要求时），合格者交货。

7 产品抗应力腐蚀性能过程控制报告

参照本文件执行的产品抗应力腐蚀性能过程控制报告，应列明：

a) 产品基本信息，包括产品名称、牌号、状态、规格、数量或重量；

b) 产品化学成分及质量分数；

c) 熔体的氢含量；

d) 低倍检测结果及照片；

- e) 氧化膜含量;
 - f) 抗晶间腐蚀性能;
 - g) 应力腐蚀敏感指数 I_{SSRT} 值;
 - h) 其他特殊要求的检测结果;
 - i) 本文件编号。
-