

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

# 团 体 标 准

T/XXX XXXX—XXXX

## 电动乘用车铝基复合材料制动盘性能要求 及测试方法

Performance requirements and test methods of aluminum matrix composites brake  
disc for electric passenger vehicle

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。

— XX — XX 发布

XXXX — XX — XX 实施

中国汽车工业协会 发布

## 目 次

前言.....	II
1 范围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 术语和定义.....	4
4 总则.....	5
5 材料要求.....	5
6 尺寸公差和形位公差.....	5
7 性能要求.....	6
8 外观及内部缺陷要求.....	8
9 无损检测要求.....	8
10 禁用物质要求.....	8
11 试验及评价方法.....	8
附录 A（规范性） 制动盘台架试验.....	11
附录 B（规范性） 溶解法测量铝基复合材料中增强体含量实验方法.....	18

## 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。

本文件由中国汽车工业协会制动系统分会提出。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位：湖南金天铝业高科技股份有限公司、广州汽车集团股份有限公司、宁波吉利汽车研究开发有限公司、北京汽车股份有限公司、北京汽车研究总院有限公司、北京新能源汽车股份有限公司、蔚来汽车科技有限公司、重庆长安汽车股份有限公司、弗迪科技有限公司、浙江亚太机电股份有限公司、芜湖伯特利汽车安全系统股份有限公司、浙江万安科技股份有限公司、烟台胜地汽车零部件制造有限公司、烟台美丰机械有限公司、上海华信摩擦材料有限公司、珠海格莱利摩擦材料股份有限公司、北京天宜上佳新材料股份有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、北京新能源汽车技术创新中心有限公司、国家超级计算长沙中心、湖南大学。

本文件主要起草人：蒋兆汝、刘春轩、曹柳絮、汪衡虎、苏新、许世堂、陈融杰、王廷喜、王魁、张俊茹、田宇黎、焦孟旺、李孟强、陈秋儿、印佳锋、冯登荣、赵飞林、李传博、杨鹏翱、张军、苑庆泽、张邦冉、孙国辉、丁鑫、易汉辉、曹静武、雷文、李旭东、吴莹、丁飞。

# 电动乘用车铝基复合材料制动盘性能要求及测试方法

## 1 范围

本标准规定了电动乘用车铝基复合材料制动盘的材料要求、尺寸公差和形位公差、性能要求、外观及内部缺陷要求、无损检测要求、禁用物质要求、试验及评价方法。

本标准适用于有制动能量回收系统的电动乘用车。其他类型的乘用车铝基复合材料制动盘可参照执行。

## 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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 1031 产品几何量技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值
- GB/T 1958 产品几何量技术规范（GPS） 形状和位置公差 检测规定
- GB/T 3177 产品几何量技术规范（GPS） 光滑工件尺寸的检验
- GB/T 3730.1 汽车和挂车类型的术语和定义
- GB/T 5163 烧结金属材料（不包括硬质合金）可渗性烧结金属材料 密度、含油率和开孔率的测定
- GB/T 6461 金属基体上金属和其他无机覆盖层经腐蚀试验后的试样和试件的评级
- GB/T 7233.1 铸钢件 超声检测 第1部分：一般用途铸钢件标准
- GB/T 9239（所有部分） 机械振动 恒态（刚性）转子平衡品质要求
- GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 19596 电动汽车术语
- GB/T 30512 汽车禁用物质要求
- GB/T 34558 金属基复合材料术语
- QC/T 564 乘用车制动器性能要求及台架试验方法
- QC/T 556 汽车制动器 温度测量和热电偶安装
- JB/T 7946.3 铸造铝合金金相 第3部分：铸造铝合金针孔
- JB/T 9218 无损检测渗透检测方法
- HB/Z 61 渗透检验
- ASTM E155 铝铸件和镁铸件检测用射线参考底片

ASTM E1742 射线照相检验的标准实施规程

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**电动乘用车** battery electric passenger vehicle

电动乘用车包含纯电动、混合动力、插电式混合动力（含增程式）及燃料电池电动乘用车。

[来源：GB/T 19596 中3.1.1中电动汽车的定义]

[来源：GB/T 3730.1中2.1.1中乘用车的定义]

#### 3.2

**铝基复合材料** aluminum matrix composites

在纯铝或铝合金基体中引入或（和）自生增强体的复合材料。

[来源：GB/T 34558 中3.2.1.1中铝基复合材料的定义]

#### 3.3

**制动能量回收系统** regenerative braking

汽车滑行、减速或下坡，将车辆行驶过程中的动能及势能转化或部分转化为车载可充电储能系统的能量储存起来的系统。

[来源：GB/T 19596 中3.1.2.1.8中制动能量回收系统的定义]

#### 3.4

**制动面** brake surface

盘体中与摩擦片配合起摩擦制动作用的表面。

#### 3.5

**厚度差（DTV）** disc thickness variation

两制动面厚度在任一圆周/径向上的变化量。

#### 3.6

**最小使用厚度** minimum thickness

制动盘磨损后的最小可用剩余厚度。

#### 3.7

**AMS 试验** AMS test

起源于德国知名汽车杂志Auto Motor Sport，规定了一种高强度的制动性能试验工况。

#### 3.8

**针孔度** pinhole degree

表示针孔严重等级。

注：根据试样表面 $1\text{cm}^2$ 范围内针孔的数量和直径进行评判。

## 4 总则

产品应按规定程序批准的产品图样及技术文件制造。

## 5 材料要求

### 5.1 力学性能

铝基复合材料制动盘的材料力学性能应符合表1规定。

表1 铝基复合材料制动盘的材料力学性能要求

材料类型	抗拉强度 MPa	制动面硬度范围 HBW	单侧制动面硬度差 HBW	双侧制动面硬度差 HBW
铝基复合材料	$\geq 150$	$\geq 90$	$\leq 20$	$\leq 30$

### 5.2 材料密度

铝基复合材料的密度在 $2.7\text{--}3.3\text{g/cm}^3$ 范围之内，且同种铝基复合材料密度值偏差不应大于 $0.15\text{g/cm}^3$ 。

### 5.3 化学成分

铝基复合材料的化学成分及质量百分比由供需双方协商确定。

## 6 尺寸公差和形位公差

### 6.1 制动面跳动

铝基复合材料制动盘制动面跳动值不应大于 $0.03\text{mm}$ 。

### 6.2 周向DTV

铝基复合材料制动盘周向DTV不应大于 $0.008\text{mm}$ 。

### 6.3 径向DTV

铝基复合材料制动盘径向DTV不应大于 $0.05\text{mm}$ 。

### 6.4 轮毂安装面平面度

铝基复合材料制动盘轮毂安装面平面度不应大于 $0.03\text{mm}$ 。

### 6.5 制动面与轮毂安装面的平行度

铝基复合材料制动盘的制动面与轮毂安装面的平行度不应大于 $0.05\text{mm}$ 。

### 6.6 安装面轴向跳动

铝基复合材料制动盘的轮辋安装面轴向跳动值不应大于 $0.05\text{mm}$ 。

### 6.7 制动面平面度

铝基复合材料制动盘的制动面平面度不应大于 $0.05\text{mm}$ 。

## 6.8 制动面粗糙度

铝基复合材料制动盘的制动面粗糙度Ra值不应大于 $3.2\mu\text{m}$ 。

## 6.9 通风盘单边壁厚变化量

铝基复合材料制动盘的通风盘单边壁厚变化量不应大于 $1.2\text{mm}$ 。

## 6.10 剩余不平衡量

铝基复合材料制动盘剩余不平衡量应小于 $300\text{g}\cdot\text{mm}$ ，去除材料的方法由供需双方协商确定。

## 6.11 中孔公差

铝基复合材料制动盘应满足中孔公差H9。

## 7 性能要求

### 7.1 扭矩破坏强度试验

按附录A.5.2的规定进行扭矩破坏强度试验后，铝基复合材料制动盘不应出现A.3所述失效。

### 7.2 高负载试验

按附录A.5.3的规定进行高负载试验后，铝基复合材料制动盘不应出现A.3所述失效。

### 7.3 热裂纹试验

按附录A.5.4的规定进行热裂纹试验后，铝基复合材料制动盘不应出现A.3所述失效。

### 7.4 AMS 试验

铝基复合材料制动盘进行AMS试验时，可由供需双方协商确定。

如按附录A.5.5的规定进行AMS试验时，应满足如下要求：

- a) 除供需双方约定外，铝基复合材料制动盘采用嵌入式热电偶测得的最高温度不应超过 $500^{\circ}\text{C}$ 。
- b) AMS 试验后，铝基复合材料制动盘不应出现 A.3 所述失效。

### 7.5 热变形试验

铝基复合材料制动盘热变形评价方式如图1所示，测量W1~W4共四个位置试验前、后的绝对变形量，其中W1、W3测量位置在制动盘最大外圆往内10mm处（特殊情况由供需双方约定），W2、W4测量位置在制动面内径往外10mm处（特殊情况由供需双方约定），热变形数值= $\text{Max}(|(W1-W2)\text{测试后} - (W1-W2)\text{测试前}|, |(W3-W4)\text{测试后} - (W3-W4)\text{测试前}|)$ 。热变形试验后应满足如下要求：

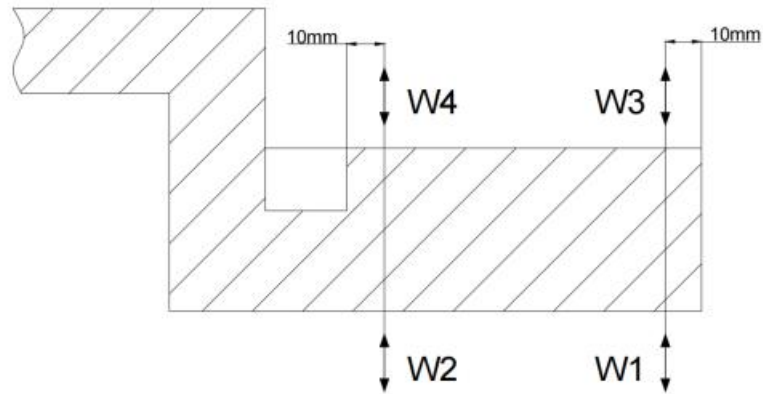


图1 热变形图示

- a) 按附录 A. 5.6 的规定进行单次制动热变形试验中, 铝基复合材料制动盘热变形不应超过 0.3mm。
- b) 按附录 A. 5.6 的规定进行连续制动热变形试验中, 铝基复合材料制动盘热变形不应超过 0.23mm。
- c) 试验完成后, 铝基复合材料制动盘不应出现 A.3 所述失效。

#### 7.6 骤冷试验

铝基复合材料制动盘进行骤冷试验时, 可由供需双方协商确定。

如按附录 A. 5.7 的规定进行骤冷试验后, 铝基复合材料制动盘不应出现 A.3 所述失效。

#### 7.7 固有频率检测

铝基复合材料制动盘固有频率波动范围不应超过图纸名义值的  $\pm 3\%$ 。

#### 7.8 最小使用厚度

铝基复合材料制动盘应在显著位置注明最小使用厚度, 标识应清晰、永久。

#### 7.9 铝基复合材料耐腐蚀性能

铝基复合材料制动盘在不进行任何防锈处理条件下, 按照 GB/T 10125 进行 48 小时中性盐雾试验后按照 GB/T 6461 进行评级应满足 7 级以上。

#### 7.10 涂装要求

铝基复合材料制动盘涂装要求可由供需双方协商, 进行涂装时, 需满足以下要求:

##### 7.10.1 涂层耐高温性能

制动盘在 300℃ 环境下放置 1 小时, 自然冷却至室温后, 喷涂区域涂层不应出现任何起泡、裂纹、脱落现象。

##### 7.10.2 涂层耐腐蚀性能

制动盘在 300℃ 环境下放置 1 小时, 自然冷却至室温后, 按照 GB/T 10125 进行中性盐雾试验 240 小时后, 按照 GB/T 6461 进行评级应满足 7 级以上。

##### 7.10.3 涂层附着力



按照GB/T 9286进行划格试验，评价结果应 $\leq$ 1级。

## 8 外观及内部缺陷要求

- 8.1 产品不允许存在裂纹、孔洞等缺陷，不允许存在明显的磕碰、划伤、锐边、毛刺等缺陷。缺陷不允许焊补、修补。
- 8.2 制动面与安装面连接部分及安装螺栓孔周围 10mm 范围内不允许存在肉眼可见的缺陷。制动面、安装面上的孔洞缺陷不应超过 1 处，且直径不应大于 2mm，深度不应大于 0.5mm。
- 8.3 制动盘表面的针孔度不应低于 JB/T7946.3 中的 1 级。

## 9 无损检测要求

铝基复合材料制动盘需进行渗透检测、射线检测、超声波检测时，由供需双方协商确定。

- 9.1 铝基复合材料制动盘可视部位进行渗透检测时，不应存在裂纹缺陷。
- 9.2 铝基复合材料制动盘进行射线检测时，高密度夹杂物不应低于 ASTM E155 规定的 1 级要求，低密度夹杂物不应低于 ASTM E155 规定的 2 级要求。
- 9.3 铝基复合材料制动盘进行超声波检测时不应有大于当量为 $\Phi$ 2mm 平底孔的缺陷存在。

## 10 禁用物质要求

铝基复合材料制动盘应按照GB/T 30512满足汽车禁用物质要求。

## 11 试验及评价方法

### 11.1 力学性能

#### 11.1.1 抗拉强度

制动盘的抗拉强度试验按GB/T 228.1的规定。试验试样应取自本体，按照GB/T 228.1的规定进行试样的制备。试验结果的评定及试验的有效性应按GB/T 228.1的规定。

#### 11.1.2 制动面硬度

铝基复合材料制动盘硬度在制动面中部检测位置间隔 $90^\circ$  取4个点，如图2所示，且内外制动面检测位置间隔  $45^\circ$ ，每面检测点中如有一个点异常，则在此点旁边打2个点，取均值。

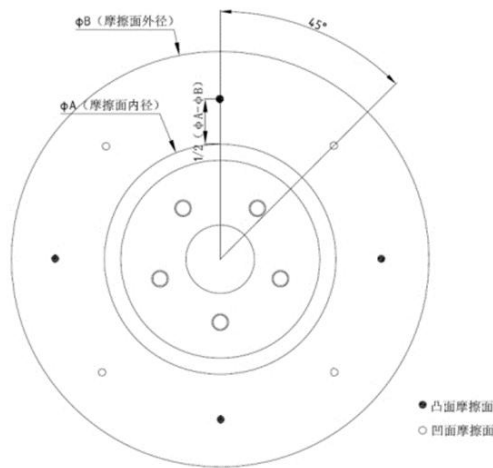


图 2 制动面硬度检测位置

11.1.2.1 通风盘的硬度应选择 在筋条正上方的制动面测试。

11.1.2.2 铝基复合材料制动盘硬度检测方法按 GB/T 231.1 的规定, 优先使用  $\phi 10\text{mm}$  的压头, 1500kgf 的载荷进行硬度检测。

11.1.2.3 硬度值应符合表 1 中的规定, 制动盘制动面的硬度值由供需双方协商确定。

## 11.2 盘体密度

铝基复合材料制动盘密度检测按 GB/T 5163 的规定。密度值应符合 5.2 中的规定。铝基复合材料制动盘的实际密度值、取样位置以及取样频率由供需双方协商确定。

## 11.3 增强体质量百分比测量

铝基复合材料中增强体的质量百分比测量方法可参考附录 B 或供需双方协商确定。铝基复合材料制动盘测量增强体质量百分比时的取样位置以及取样频率由供需双方协商确定。

## 11.4 尺寸公差和形位公差

11.4.1 制动盘周向 DTV 的检测位置参考图 3, 分别在 1-1'、2-2'、3-3' 三个位置进行检测。

11.4.2 制动盘径向 DTV 的检测位置参考图 3, 分别在 1-1' 至 3-3' 位置间隔  $120^\circ$  进行三次检测。

11.4.3 制动面轴向跳动检测位置参考图 3, 分别在 3、3' 两个位置进行检测。

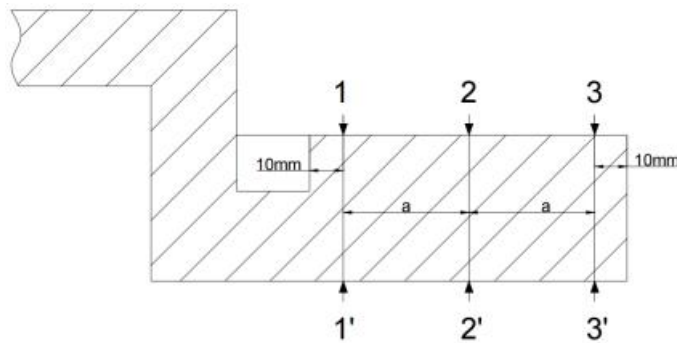


图 3 DTV 及制动面跳动检测位置

11.4.4 周向DTV与制动面跳动检测时，工件旋转需大于2圈。

11.4.5 基准孔直径，通风盘单边壁厚变化量的检测方法按GB/T 3177的规定。

11.4.6 制动面相对于轮毂安装面的平行度、轮辋安装面跳动、轮毂安装面平面度的检测方法按GB/T 1958的规定。

#### 11.5 制动面粗糙度

制动面粗糙度的检测方法按GB/T 1031的规定。

#### 11.6 剩余不平衡量

剩余不平衡量的检测方法按GB/T 9239的规定。

#### 11.7 无损检测

11.7.1 铝基复合材料制动盘渗透检测方法按HB/Z61或JB/T9218的规定。

11.7.2 铝基复合材料制动盘射线检测方法按ASTM E1742的规定。

11.7.3 铝基复合材料制动盘超声波检测方法按GB/T 7233.1的规定。

#### 11.8 针孔度

铝基复合材料制动盘针孔度检测方法按JB/T 7964.3的规定。

## 附录 A (规范性) 制动盘台架试验

### A.1 范围

本附录规定了磨合程序、扭矩破坏强度试验、热裂纹试验、AMS试验、高负载试验、热变形试验、骤冷试验的台架试验方法、技术要求和失效判定准则。

### A.2 试验相关要求

#### A.2.1 试验惯量

试验惯量的设置应尽可能接近理论惯量。其偏差应在理论惯量的±5%范围内，理论惯量是指在车辆制动时产生的总惯量在相应车轮上分配的惯量。按式(A.1)计算。

$$I = M \cdot r_{dyn}^2 \quad \text{..... (A.1)}$$

式中：I——理论转动惯量，单位为千克二次方米（kg·m<sup>2</sup>）；

M——试验质量（制动时，车辆总质量在相应车轮上分配的质量），单位为千克（kg）；

r<sub>dyn</sub>——轮胎动态滚动半径，单位为米（m）。

#### A.2.2 试验质量

前制动器的试验质量 M 的计算方法如下：

$$M = \frac{G_a(b+T \cdot h_g)}{2 \cdot L}$$

后制动器的试验质量 M 的计算方法如下：

$$M = \frac{G_a(a-T \cdot h_g)}{2 \cdot L}$$

式中：G<sub>a</sub>——汽车满载总质量（kg）；

L——汽车轴距（m）；

h<sub>g</sub>——汽车满载时重心高度（m）；

a——满载时重心至前轴的水平距离（m）；

b——满载时重心至后轴的水平距离（m）；

T——试验所需最大制动强度；（如无其他规定，所有试验计算前制动器的试验质量时，取减速度1g，计算后制动器的试验质量时，取减速度0.45g，g=9.8m/s<sup>2</sup>）。

#### A.2.3 环境要求

A.2.3.1 试验时不带车轮，在试验阶段，若试验无明确规定，则被试制动器处冷却风速应当限定为11m/s，其他情况下的风速不做限定。

A.2.3.2 若试验无明确规定，出风口的冷却空气温度为：室温。

A.2.3.3 若试验无明确规定，冷却风量要求≥2500m<sup>3</sup>/h。

#### A.2.4 试验设备要求

除另有规定外，试验设备应满足 QC/T 564 中试验设备要求的规定。

#### A.2.5 采样率

下列自动数据采集系统取样频率最小 100Hz；

- a) 制动等效线速度测试；
- b) 制动管路压力；
- c) 制动输出力矩；
- d) 制动盘温度；
- e) 制动液波动量（可选）；
- f) 冷却风速。

#### A.2.6 温度测量

A.2.6.1 高负载试验与热裂纹试验可采用贴片式热电偶进行温度的测量，贴片式热电偶应贴在制动盘有效制动半径的节圆上，安装位置如图 A.1 所示。

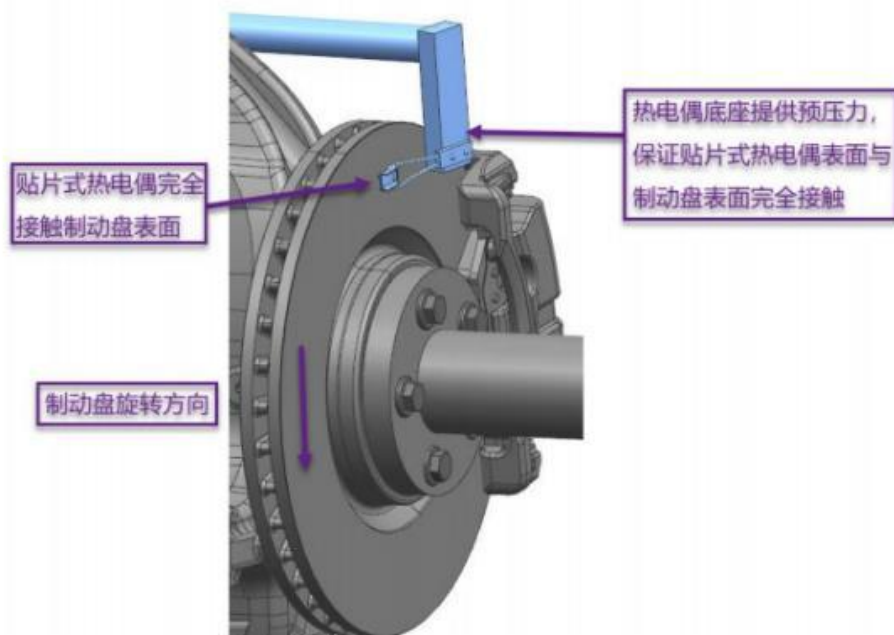


图 A.1 贴片式热电偶安装方法

A.2.6.2 骤冷试验应使用贴片式热电偶进行温度测量，贴片式热电偶应贴在制动盘有效制动半径的节圆上，安装位置如图 A.1 所示。

A.2.6.3 热变形试验应使用制动盘内嵌入的热电偶进行温度测量，安装位置应按照 QC/T 556 的规定执行。

A.2.6.4 AMS 试验应分别在制动盘、摩擦片内嵌入热电偶进行温度测量，摩擦片内嵌入热电偶测得的温度供参考，安装位置应按照 QC/T 556 的规定执行。

### A.3 样品失效判定准则

试验过程中，当铝基复合材料制动盘出现如下现象之一时，即判定铝基复合材料制动盘样品失效，参考图A.2。

- a) 制动面的径向裂纹长度超过制动面宽度的三分之二；
- b) 制动面的裂纹达到了制动盘制动面内径或外径；
- c) 制动面上有贯穿性径向裂纹；
- d) 制动面外的任何区域出现变形、结构损坏或裂纹。

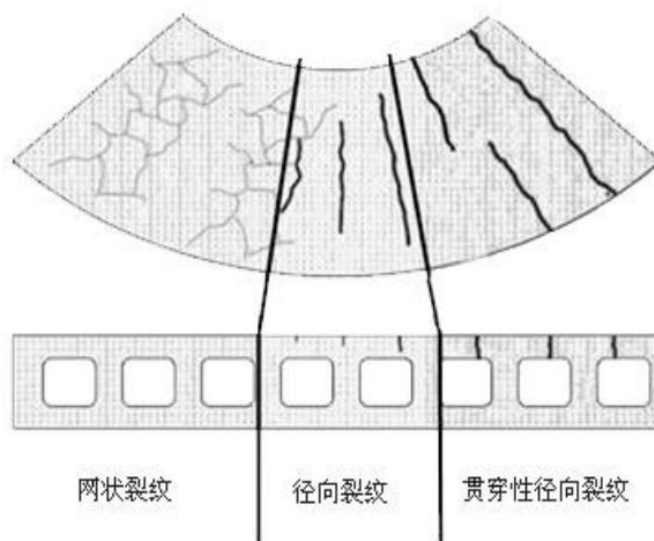


图 A.2 裂纹类型图示

### A.4 试验样件准备

#### A.4.1 总则

若试验无特殊要求，试验使用随机抽取的正常生产工艺生产的新铝基复合材料制动盘进行。

#### A.4.2 铝基复合材料制动盘要求

A.4.2.1 若试验无特殊要求，每个试验应测试3个样本。

A.4.2.2 试验前后，应对铝基复合材料制动盘的制动面厚度、跳动、DTV、粗糙度进行检测并记录。

#### A.4.3 摩擦片要求

铝基制动盘在试验与使用过程中，采用的摩擦片应根据铝基复合材料的种类进行匹配，不可采用其他材料制动盘的摩擦片直接进行试验与使用。

试验前后，对试验使用的每一副摩擦片厚度进行检测与记录。

#### A.4.4 铝基复合材料制动盘台架安装要求

试验前总成跳动检测应 $\leq 0.05\text{mm}$ 。

### A.5 试验方法及技术要求

## A.5.1 磨合程序

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	初始温度：≤250℃，当温度大于250℃后冷却至100℃后继续磨合； 制动初始速度：100km/h； 制动压力：30bar； 制动终止速度：50km/h； 每循环制动次数：1； 循环数：200。
注：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合。		

## A.5.2 扭矩破坏强度试验

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	按A.5.1 磨合试验程序中规定的试验方法进行。
2	扭矩破坏强度试验	前进方向：制动初速度50km/h，制动初温：80℃，设定力矩从相当于减速度 $3.9\text{m/s}^2$ 起，以 $1.95\text{m/s}^2$ 的间隔，分级增加，最大减速度不低于 $1.8g(g=9.8\text{m/s}^2)$ ，每个设定力矩进行5次制动。 后退方向：制动初速度20km/h，制动初温：80℃，设定力矩从相当于减速度 $3.9\text{m/s}^2$ 起，以 $1.95\text{m/s}^2$ 的间隔，分级增加，最大减速度不低于 $1.8g(g=9.8\text{m/s}^2)$ ，每个设定力矩进行5次制动。
注：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合。		

## A.5.3 高负载试验

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	按A.5.1 磨合试验程序中规定的试验方法进行
2	高负载试验	每循环制动初始温度：100℃； 制动初始速度：车辆设计最大车速； 制动减速度： $1g(g=9.8\text{m/s}^2)$ ； 制动终止速度：0.5km/h； 每循环制动次数：1； 循环数：70。
注：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合。		

## A.5.4 热裂纹试验

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	按A.5.1 磨合试验程序中规定的试验方法进行
2	热裂纹试验	每循环制动初始温度：100℃； 制动初始速度：若车辆设计最大车速 $\geq$ 200km/h，则试验初始速度为160km/h。 若车辆设计最大车速 $<$ 200km/h，则试验初始速度为车辆设计最大车速的80%； 制动减速度：0.5g ( $g=9.8\text{m/s}^2$ )； 制动终止速度：0.5km/h； 单个循环制动次数：2； 单个循环内两次制动间隔：70s，单个循环内两次制动间隔时间如图A.3示； 循环数：160。

注：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合。

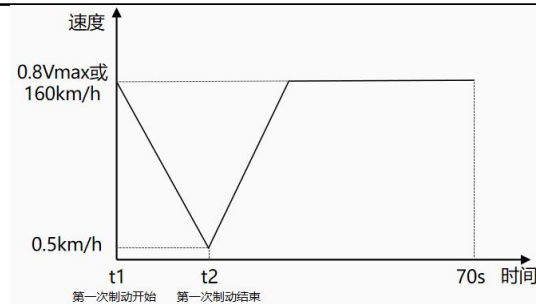


图 A.3 热裂纹试验单个循环内两次制动间隔时间图示

## A.5.5 AMS试验

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	按A.5.1 磨合试验程序中规定的试验方法进行
2	AMS试验	每循环制动初始温度：100℃； 制动初始速度：100km/h； 制动减速度：1g ( $g=9.8\text{m/s}^2$ )； 制动终止速度：0； 单个循环制动次数：10； 单次制动循环时间：由‘车辆加速时间’+‘1秒反应时间’+‘减速时间(2.83s)’三部分组成，不同配置的车辆单次制动循环时间不同，如图A.4示； 循环数：1。

注：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合。



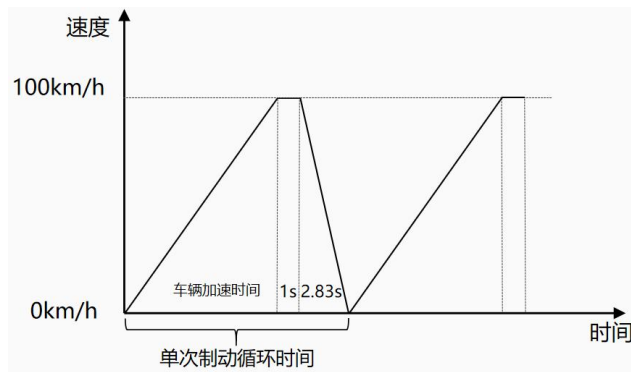


图 A. 4 AMS 试验单次制动循环时间图示

A. 5. 6 热变形试验

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	按A. 5. 1 磨合试验程序中规定的试验方法进行。
2	单次制动热变形试验	每循环制动初始温度：100℃； 制动初始速度：车辆设计最大车速； 制动减速度：0. 5g ( $g=9. 8m/s^2$ )； 制动终止速度：20km/h； 单个循环制动次数：1； 循环数：5。
3	连续制动热变形试验	每循环制动初始温度：100℃； 制动初始速度：100km/h； 制动减速度：0. 5g ( $g=9. 8m/s^2$ )； 制动终止速度：20km/h； 单个循环制动次数：15； 单个循环内相邻两次制动间隔：35s，单个循环内相邻两次制动间隔时间如图A. 5示； 循环数：3。

注：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合。

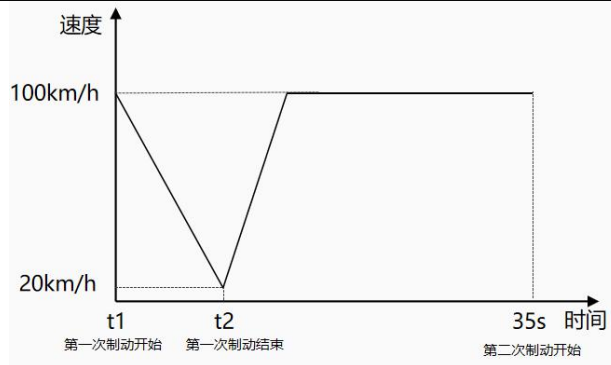


图 A. 5 连续热变形试验单个循环内相邻两次制动间隔时间图示

## A.5.7 骤冷试验

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	按A.5.1 磨合试验程序中规定的试验方法进行。
2	骤冷试验	制动初始速度：100km/h； 制动终止速度：0； 制动减速度：0.5g ( $g=9.8\text{m/s}^2$ )； 注水后制动盘温度：80℃； 试验次数： 温度梯度选取：300℃、350℃、400℃、450℃（可选），每个温度循环5次； 注水时制动盘转速：20r/min； 注水流量：8L/min； 注水方向：参考图A.6。
注1：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合； 注2：根据铝基复合材料实际最高使用温度，450℃作为可选方案，温度梯度也可由供需双方协商确定。		

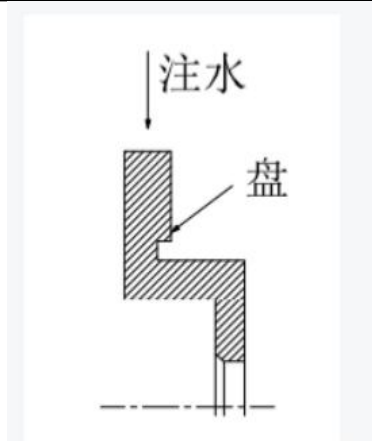


图 A.6 骤冷试验铝基复合材料制动盘注水方法

## 附录 B

(规范性)

## 溶解法测量铝基复合材料中增强体含量实验方法

## B.1 范围

本附录适用于增强体不溶于酸性溶液的铝基复合材料中增强体的质量百分比计算方法。试验通过过滤得到未被酸性溶液溶解的增强体，干燥后称量所得增强体的质量，从而计算出铝基复合材料中增强体的质量百分比。

## B.2 试验相关要求

## B.2.1 实验试剂及器材

- a) 试剂：盐酸（分析纯）、氢氟酸（分析纯）、质量分数 30%的过氧化氢（分析纯）、蒸馏水。
- b) 器材：钢锯、烧杯、玻璃棒、平板加热炉、定量滤纸、漏斗、马弗炉、陶瓷坩埚、干燥器、天平（读数精度 0.0001g）。

## B.2.2 实验方法

- a) 用钢锯锯下颗粒增强铝基复合材料小块约 2g，称取小块质量  $m_1$ ，作为实验样本。
- b) 将样本置于烧杯中，使用 20ml 蒸馏水稀释 20ml 浓盐酸，将稀释后的盐酸溶液缓慢的分多次加入烧杯中，剧烈反应停止后滴加 5ml 氢氟酸，剧烈反应停止后滴加 10ml 过氧化氢，缓慢加热至基体完全溶解，煮沸分解过量的过氧化氢，冷却。
- c) 使用定量滤纸过滤混合液，蒸馏水充分洗涤沉淀。
- d) 将陶瓷坩埚置于 800℃ 马弗炉内灼烧 1h，放入干燥器中冷却至室温后称取陶瓷坩埚质量  $m_2$ 。
- e) 将沉淀和滤纸放入预处理后的坩埚中，在马弗炉内 500℃ 灰化 30min，再 800℃ 灼烧 3.5h。冷却至 300℃ 取出坩埚，放入干燥器中冷却至室温，称重，重复灼烧至恒重得  $m_3$ 。

## B.3 质量百分比计算

铝基复合材料中增强体材料的质量分数  $\omega$  的计算方法如下：

$$\omega = \frac{m_3 - m_2}{m_1} \cdot 100\%$$