

ICS 43.040.40
CCS Q 69



中华人民共和国国家标准

GB/T 41062—2021

摩擦材料和制动器间的热传导试验方法

Test method for thermal transport properties to friction materials and brakes

2021-12-31 发布

2022-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由全国非金属矿产品及制品标准化技术委员会(SAC/TC 406)归口。

本文件起草单位：黄山菲英汽车零部件有限公司、西北工业大学、东营宝丰汽车配件有限公司、桐庐宇鑫汽配有限公司、青岛华瑞汽车零部件股份有限公司、福建工程学院、河北正大摩擦制动材料有限公司、日照中伟汽车配件有限公司、咸阳非金属矿研究设计院有限公司、中国建材检验认证集团咸阳有限公司、衡水众成摩擦材料有限公司、河北星月制动元件有限公司、珠海格莱利摩擦材料股份有限公司、珠海华莱汽车零部件有限公司。

本文件主要起草人：王怡超、卢锦花、杜孟子、侯立兵、田式国、王煜鹏、王忠生、王乾廷、申让林、张启、孙宝旗、刘卫、申坤瑞、张建国、高雪峰、孙金朋。

引 言

当进行有限元分析(FEA)或制动系统性能建模时,建议使用本文件中描述的材料性能。测试零件的热膨胀、尺寸稳定性、膨胀和增厚的试验是评估衬片零件受热影响的性能。零件热膨胀测试值与材料特性热膨胀系数(CTE)有差异。衬片在进行压缩特性试验过程中或通过 GB/T 22310 测得的热膨胀试验的结果不是导热系数(λ)。

利用盘式制动器衬片、鼓式制动器衬片以及摩擦材料间的热传导性能评价制动部件的热负荷承受能力。通常使用计算机辅助或者模拟来观察制动衬片的热处理性能。

暴露在高温下会改变摩擦材料的性质,包括它们的热传导性能。例如,新衬片和使用过的衬片材料在不同的环境温度中会表现出不同的热传导性能。由高温导致材料性质的任何变化也可能是温度 and 时间的函数。基于此,建议试验结果记录衬片完整的状况、所处的温度状况和所处高温下的时间。

摩擦材料和制动器间的热传导试验方法

警示——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。

1 范围

本文件描述了摩擦材料和制动器间热扩散系数、比热容、导热系数和热膨胀系数试验方法。本文件适用于盘式制动器衬片、鼓式制动器衬片与摩擦材料间的热传导性能的测定。

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 4339 金属材料热膨胀特征参数的测定
- GB/T 5620 道路车辆 汽车和挂车制动名词术语及其定义
- GB/T 10295 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法
- GB/T 19466.4 塑料 差示扫描量热法(DSC) 第4部分:比热容的测定
- GB/T 22588 闪光法测量热扩散系数或导热系数
- GB/T 32064 建筑材料导热系数和热扩散系数瞬态平面热源测试法

3 术语和定义

GB/T 5620 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热扩散系数 thermal diffusivity

α

摩擦材料被加热或者冷却时,热量在摩擦材料内部扩散的速率。

注:单位为平方厘米每秒(cm^2/s)。热扩散系数越大,通过材料的温度扩散和热流量越快。

3.2

比热容 specific heat

C_p

单位质量的物质在压力不变的条件下,温度升高或下降时所吸收或释放的热量。

注:单位为焦耳每克摄氏度[$\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$]。

3.3

导热系数 thermal conductivity

λ

稳定条件下,通过单位面积,垂直于面积方向单位温度梯度的热流时间速率。

注:单位为瓦每米开尔文[$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]。

4 试验方法

4.1 热扩散系数测定方法

4.1.1 方法概述

激光闪光法用于测定热扩散系数的一种方法。将已知厚度的试样暴露在强烈的激光或氙闪光灯下,获得短时的能量爆发。然后测量试样背面的温升,根据温升和时间的关系计算热扩散系数。通常用试样背面的温升达到最大温升 1/2 的时间按公式(1)计算。

$$\alpha = \frac{0.1388D^2}{t_{0.5}} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- α —— 热扩散系数,单位为平方厘米每秒(cm^2/s);
- 0.1388 —— 换算系数;
- D —— 试样厚度,单位为厘米(cm);
- $t_{0.5}$ —— 试样背面温升达到最大温升 1/2 的时间,单位为秒(s)。

激光闪光法要求从中切割小尺寸试样进行测量(如直径 10 mm,厚度 3 mm 的样品)。本方法可以在室温和高温环境中测定热扩散系数。

瞬态平面光源(或热板)法可以同时测定热扩散系数、导热系数和比热容进行非破坏性测定。本方法依赖于由双螺旋形状的导电图构成的薄传感器;薄传感器可用作热源和动态温度传感器。可以在完整衬片上进行试验,不需要切割成小试块;薄传感器可以放置在两个完全相同的衬片之间进行测定。这种方法很容易测量室温,但是对于高温,衬片应通过外部加热器、烘箱或热板来保持温度。非破坏性热扩散系数测定技术的另一个最新进展是脉冲式视频热成像技术。

4.1.2 仪器设备

热扩散系数所需仪器设备如下:

- a) 闪光源;
- b) 试样支架;
- c) 环境控制附件;
- d) 温度反应探测器;
- e) 记录装置;
- f) 主机;
- g) 探头;
- h) 样品仓;
- i) 恒温控制器。

4.1.3 试样

4.1.3.1 闪光法(A法)

4.1.3.1.1 通常采用的试样为薄的圆片状试样,其接受脉冲能量辐射表面面积比能量束斑小。典型的试样直径为 6 mm~18 mm,最佳试样厚度取决于所估计的热扩散系数大小,并选择此试样厚度以确保达到最高温度所需的时间在 40 ms~200 ms 之内变化。高温测量时应采用较薄的试样,使热损失修正

值减到最小。试样应具有足够的厚度才可使得待测材料更具代表性。典型的试样厚度为 1 mm~6 mm。由于热扩散系数与试样厚度的平方成比例,因此应在不同的温度范围内采用不同的试样厚度。低温测试所需的最佳试样厚度与高温测试所需的试样厚度不一致。

4.1.3.1.2 选择的试样厚度不当不仅会造成不必要的试验失败,而且也是造成试验误差的主要原因。一般开始时可以选择 2 mm~3 mm 厚的试样,随后以得出的温度记录曲线为基础改变试样厚度(试样过厚观测不到信号)。

4.1.3.1.3 所制备的试样表面应平整且平行误差在厚度的 0.5% 以内。不应有任何表面缺陷(砂眼、划痕、条纹),因为它严重影响试验结果。

4.1.3.2 平面热源法(B法)

4.1.3.2.1 样品测试面有效直径不应小于探头直径的 2 倍,且表面平整,不应进行表面材质、密度改性。

4.1.3.2.2 块状样品应符合 4.1.3.2.1 的要求,可制备成圆柱体、正方体等,上下两片样品厚度一致,厚度宜大于所选探头直径,不应小于探头半径。

4.1.3.2.3 薄片样品应符合 4.1.3.2.1 的要求,制备时上下两片样品厚度应一致,偏差不应大于 0.01 mm。

4.1.3.2.4 薄膜样品应符合 4.1.3.2.1 的要求,制备时上下两片样品厚度应一致,偏差不应大于 0.001 mm。

4.1.3.2.5 单轴异性样品应符合 4.1.3.2.1 的要求,制备时应使样品测试面与 x 轴、 y 轴确定的平面平行。

4.1.3.2.6 将样品烘干至恒重,调节至试验温度;有特殊要求时样品应按产品要求进行状态调节。

4.1.4 试验步骤

4.1.4.1 闪光法(A法)按 GB/T 22588 测定。

4.1.4.2 平面热源法(B法)按 GB/T 32064 测定。

4.1.5 试验报告

试验报告至少包括以下信息:

- a) 试样标识;
- b) 试样厚度;
- c) 试验温度;
- d) 试验温度下, $X=50\%$ (温升百分比) 时计算出的热扩散系数, m^2/s ;
- e) 与 $X=25\%$ 、 $X=75\%$ 以及 $X=50\%$ 时计算的热扩散系数相关的陈述或者试验曲线下落部分每个温度处数据与理论模型比较;
- f) 每个温度下的重复测试结果报告;
- g) 是否对热膨胀进行修正,如果修正,应报告所采用的热膨胀数据;
- h) 对热损失和有限脉冲时间效应进行修正过程以及对误差进行的分析;
- i) 试样周围的环境状况;
- j) 与本文件规定相一致的试验内容;
- k) 检测依据;
- l) 环境温度、相对湿度;
- m) 样品信息,包括产品名称、规格型号、生产厂家、生产日期、样品尺寸、样品密度、测试方向(单轴

- 异性样品需记录样品轴向和测试取向)、样品含水率等；
- n) 检测仪器信息,包括名称、型号,探头型号等；
- o) 测试总时间、输出功率及计算时间；
- p) 测试结果,不同测试条件下的导热系数和热扩散系数；
- q) 测试单位等信息。

4.2 比热容测定方法

4.2.1 方法概述

材料的比热容越大,材料的散热性就越突出。比热容对温度要求比较高,会随着测量间隔的不同而变化。

比热容通常用差示扫描量热仪(DSC)测定。当两者以恒定速率均匀加热时,用 DSC 测定试样的热反应,使其与标准物质(蓝宝石)做比较。通常记录从 100 °C 到用户设定的最大温度的数据。该测试还能显示在施加的温度范围内材料是否会发生任何相变。如果在 DSC 测试过程中发生相变,则相同材料样品的后续测试将产生不同的结果。比热容可与热扩散系数结合使用,以计算导热系数。

目前,利用 DSC 来测定摩擦材料的比热容,其典型试样体积较小,例如 0.5 mm³~20 mm³,所以单个试样可能对较大尺寸成分或粗混合成分的摩擦材料不具代表性。鉴于此,解决这个问题的途径有:

- a) 测定大量试样的比热容,使得这些试样的尺寸与设备允许的一样大；
- b) 将具有代表性的摩擦材料研磨成粉状,并轻轻压制成丸状,然后通过 DSC 进行检测。按公式(2)计算:

$$C_p = \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

C_p —— 比热容,单位为焦耳每克摄氏度[J/(g·°C)];

ΔQ —— 热量,单位为焦耳(J);

m —— 试样质量,单位为克(g);

ΔT —— 温升,单位为摄氏度(°C)。

4.2.2 仪器设备

比热容测定所需仪器设备如下:

- a) DSC 仪器:能以 0.5 °C/min~20 °C/min 的速率,等速升温或降温;能保持试验温度恒定在±0.5 °C 内至少 60 min;能够进行分段程序升温或其他模式的升温;
- b) 坩埚:良好的导热性能,能够加盖和密封,并能承受在测量过程中产生的抗压;
- c) 分析天平:称量准确度在±0.01 mg。

4.2.3 试样

试样可分为粉末、颗粒、细粒或从样品上切成的碎片状。试样应能代表受试样品,并小心制备和处理。如果是从样品上切取试样时应小心,以防止聚合物受热重新取向或其他可能改变其性能的现象发生。应避免研磨等类似操作,以防止受热或重新取向和改变试样的热历史。对颗粒或粉料样品,应取两个或更多的试样。取样的方法和试样的制备应在试验报告中说明。

4.2.4 试验步骤

比热容按 GB/T 19466.4 测定。

4.2.5 试验报告

试验报告包括以下信息：

- a) 试验日期；
- b) 能完整描述测试样品的所有必要细节，包括热历史；
- c) 所用 DSC 仪器的制造厂家型号、类型（功率补偿型或热流型）；
- d) 试验用样品坩埚及盖子的形状、尺寸和材质；
- e) 试验用气氛及流速；
- f) 校准物质，包括印刷品上的信息，材料的性质，使用的质量和其他与校准相关的特性；
- g) 试样的形状、尺寸和质量；
- h) 取样的详细资料和试样的状态调节；
- i) 温度程序参数，即：起始温度、加热速率、终止温度、等温段的时间间隔，以及在步进方法中温度的增量，若采用降温，还需说明降温速率；
- j) 试验结果，包括比热容和相应的温度；
- k) 其他所需的信息。

4.3 导热系数测定方法

4.3.1 方法概述

热量的稳态测定或热量通过材料的速度，是评价材料热传导特性的一个重要指标。导热系数是在稳定的传热条件下，通过单位厚度的材料所传递的单位热量，按公式(3)计算：

$$\lambda = \frac{H}{A \frac{dT}{dx}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- λ —— 导热系数，单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)]；
 H —— 通过面积 A 的热流量，单位为瓦(W)；
 A —— 传热面积，单位为平方米(m²)；
 $\frac{dT}{dx}$ —— 温度梯度，单位为开尔文每米(K/m)。

测定导热系数最简单的方法是测定 α 、 ρ 和 C_p ，按公式(4)进行计算：

$$\lambda = \alpha \rho C_p \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- λ —— 导热系数，单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)]；
 α —— 热扩散系数，单位为平方米每秒(m²/s)；
 ρ —— 试样密度，单位为千克每立方米(kg/m³)；
 C_p —— 比热容，单位为焦耳每千克开尔文[J/(kg·K)]。

导热系数也可以通过瞬态平面源法直接测定。

4.3.2 仪器设备

导热系数测定所需仪器设备如下：

- a) 加热单元；

- b) 冷却单元；
- c) 热流计；
- d) 热电偶；
- e) 芯板；
- f) 热电堆。

4.3.3 试验步骤

导热系数按 GB/T 10295 测定。

4.3.4 试验报告

试验报告包括以下信息。

- a) 材料的名称、标志和物理性能。
- b) 操作员对试件的描述和对试件与样品关系的描述。与可适用的材料规范的一致性。松散试件的制备方法,并说明容器盖材料的测得电阻。
- c) 测定时试件的厚度,在双试件布置中为两块试件总厚度。并注明厚度是强制的还是测量的。
- d) 状态调节的方法和温度。
- e) 测定时试件的密度。
- f) 在干燥或状态调节时的相对质量变化。
- g) 在测定时的相对质量变化,并观察厚度和体积变化。
- h) 根据冷热板温度计算试件平均温差及其测量方法。
- i) 测定的平均温度。
- j) 平衡时的热流密度。
- k) 试件的热阻。可应用时,给出热阻系数、导热系数以及这些数值可用的厚度范围。
- l) 所用热流计装置的类型。减少边缘热损失的方法、测定时板周围的环境温度及热流计的数量、位置。
- m) 装置取向:垂直、水平或其他方向。单试件装置的试件不是垂直方向时,应说明试件热侧的位置:顶部、底部或其他位置。
- n) 对于试验中需在试件与装置面板之间插入薄片材料或需使用防水汽封套的情况,应说明薄片材料或防水汽封套的性质和厚度。如果用温度传感器测定温差,应给出测定方法。
- o) 测定日期、最后一次标定装置的日期及所用材料的类型。
- p) 如果有助于解释结果,应提出整个试验和试验中稳态持续的时间。
- q) 在标定时所用的试件,标明类型、热阻、试件鉴定日期、鉴定单位、鉴定的有效日期和鉴定试验的编号。
- r) 建议在报告中说明所测定传热性质的最大预计误差,当标准中某些要求没有满足时,建议包括误差估算的报告。
- s) 因情况(或要求)不能完全满足本文件所叙述的测定过程时,可以做出商定的例外声明。但是应在报告中说明,建议的语句是:“本测定除……之外,完全符合 GB/T 10295 试验方法的要求。”对于直接读数的装置,还应有电子线路和设备的标定或符合标准的说明(包括日期和线性符合要求的说明)。

4.4 热膨胀系数测定方法

4.4.1 方法概述

差分推杆膨胀计用于测定线性膨胀系数。测试样品的热膨胀根据标准参考样品(例如石英)的热膨胀来确定。将两个样品放在炉中并排缓慢加热,同时按压两个推杆从炉子延伸到带有热隔离的线性可变位移传感器(LVDT)以便测量其长度变化。两个样品之间的膨胀差异导致推杆的不同运动,从而允许确定未知样品的线性热膨胀系数,线性热膨胀系数是长度的变化量与初始温度下原长度的比值。用热电偶测量样品的温度。按公式(5)计算:

$$\alpha_m = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- α_m —— 热膨胀系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$);
- ΔL —— 长度变化量,单位为毫米(mm);
- L_0 —— 试样原始长度,单位为毫米(mm);
- ΔT —— 温升,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

4.4.2 仪器设备

热膨胀系数测定所需仪器设备如下:

- a) 试样载体和推杆应由同牌号的透明石英制成,两者热膨胀系数间的差异应在 $\pm 1\%$ 以内;
- b) 高温炉:温度为 $0^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$;
- c) 位移传感器;
- d) 数据处理记录仪;
- e) 热电偶: $190^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$,推荐使用E型或T型热电偶; $0^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$,推荐使用K型、S型及N型热电偶;
- f) 指针式千分尺或卡尺。

4.4.3 试样

4.4.3.1 被检试样应具有刚性固体特征,即在试验温度和仪器所予应力下,试样的蠕变或弹性应变速率是可忽略的,不会对热长度变化的测量产生可见的影响。

4.4.3.2 试样最小长度应为 $25 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$,横向尺寸为 $3 \text{ mm} \sim 10 \text{ mm}$ 。

4.4.3.3 试样应轴向均匀,其端面(与载体、推杆间的接触面)的粗糙度应不大于 $10 \mu\text{m}$,端面间的不平行度应小于 $25 \mu\text{m}$ 。不应采用具有尖端的试样,它在试验中易产生变形。

4.4.3.4 增大试样的横截面积有助于防止升温时试样的非弹性蠕变。

4.4.3.5 控制试样中的温度梯度,保证试样上的温度不均匀性在 $\pm 2^{\circ}\text{C}/50 \text{ mm}$ 。

4.4.4 试验步骤

热膨胀系数按 GB/T 4339 测定。

4.4.5 试验报告

试验报告包括以下信息:

- a) 关于制造者、材料化学成分及受热加工历程的描述;

- b) 试样的制备方法,各向异性的轴向方向以及试样所经受的热、机械、湿度或其他处理的细节;
- c) 试样的形状和尺寸,包括原始长度和基准温度;
- d) 所用装置的简明描述,包括膨胀位移和温度测量系统、精度估算、加热与冷却速率、温度控制的气氛;
- e) 列出使用的参照材料及对包括膨胀位移传感器、温度传感器在内的整个热膨胀测试系统的校正方法;
- f) 在指定的温度区间内,展示线性热膨胀、测量温度及平均线膨胀系数的数据表;
- g) 关于试样异常现象的完整描述,诸如:试验后在参照温度下试样显示永久变形、过度氧化、起皮、变色、形变、裂纹、开裂等所有可能影响实验结果而需要加以说明的因素;
- h) 满足被检材料特殊要求的任何附加信息。



参 考 文 献

- [1] GB/T 22310 道路车辆 制动衬片 盘式制动衬块受热膨胀量试验方法
- [2] SAE J2581—2017 Thermal Transport Properties Germane to Friction Materials and Brakes

