

中华人民共和国国家军用标准

FL 0143

GJB 1201.1—91

固体材料高温热扩散率试验方法 激光脉冲法

Test method for thermal diffusivity of solid
materials at high temperature by a laser pulse method

1991—10—18 发布

1992—06—01 实施

国防科学技术工业委员会 批准

中华人民共和国国家军用标准

固体材料高温热扩散率试验方法 激光脉冲法

GJB 1201.1—91

Test method for thermal diffusivity of solid
materials at high temperature by a laser pulse method

1 主题内容与适用范围

本标准规定了用激光脉冲法测量固体材料(金属、陶瓷、碳和石墨等)高温热扩散率的方法。

本标准适用于测量温度在 300~2800K、热扩散率在 $0.004 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ 范围内的固体材料。

2 术语

热扩散率 (α) thermal diffusivity

热扩散率又称导温系数,是表征非稳态导热过程中温度传播能力的物理参数,以 α 表示,见公式 1。

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_p \rho} \dots\dots\dots (1)$$

式中: α —热扩散率, m^2/s ;

λ —热导率, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

C_p —一定压比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

ρ —密度, kg/m^3 。

3 方法要点

一个均质、不透光的圆片状试样,其正面受到瞬时激光脉冲均匀加热,在绝热条件下产生向试样背面的一维热流,由此引起的背面温升可由公式 2 计算:

$$\frac{T(t)}{T_m} = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp(-n^2 \pi^2 \omega) \dots\dots\dots (2)$$

$$\omega = \frac{at}{\delta^2} \dots\dots\dots (3)$$

式 2、3 中: $T(t)$ —试样背面温升, K;

T_m —试样背面最大温升, K;

t —时间, s;

δ —试样厚度, m;

ω —热损失系数。

当 $T(t)/T_m=0.5$ 时,热扩散率可按公式 4 计算:

$$\alpha = \frac{\omega_{0.5} \delta^2}{t_{0.5}} \dots\dots\dots (4)$$

式中: $t_{0.5}$ —试样背面温升达到最大温升 T_m 一半所需的时间, s。

激光脉冲法原理见图 1。

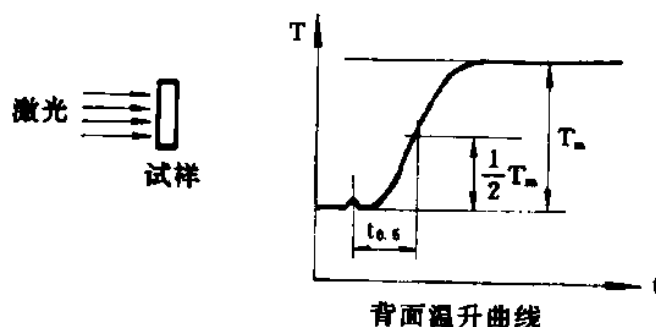


图 1 激光脉冲法原理图

4 测试设备

测试设备由激光器、真空加热炉和背温采集系统组成,见图 2。

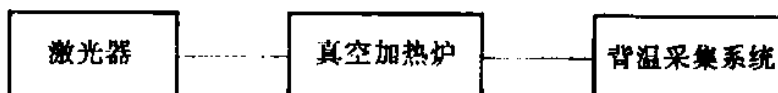


图 2 测试设备方框图

4.1 激光器

可采用钹玻璃激光器或红宝石激光器,光束直径在试样处应大于 10mm,单个脉冲能量在 20~50J 可调,脉冲宽度 τ 不大于 1ms。

4.2 真空加热炉

真空加热炉的压力小于 1.3Pa。

炉窗口用石英玻璃制做。

炉膛内安置试样架。为减少试样与试样架之间接触热损失,可采用 V 型架或双锥面架,见图 3。

4.3 背温采集系统

包括温度传感器和温升采集系统。

4.3.1 温度传感器

在 300~1800K 范围内可用直径小于 0.1mm 的热电偶。

在 900~2300K 范围内可用硫化铅热敏电阻。

在 1300~2800K 范围内可用硅光电池。

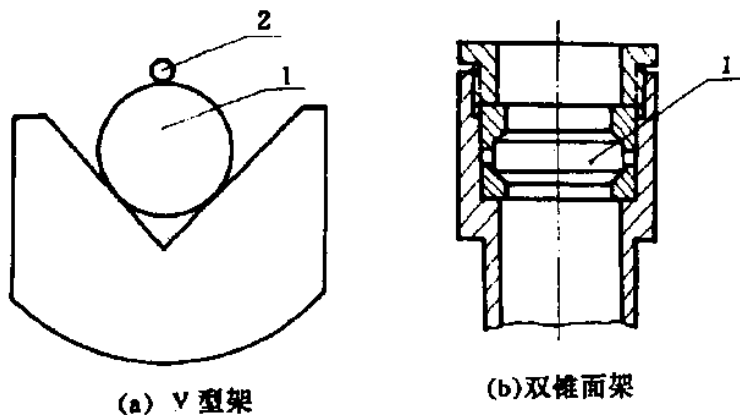


图 3 试样架

1—试样, 2—压杆

4.3.2 温升采集系统

由温度传感器得到的背温信号, 经初温补偿后, 由温升采集系统采集。温升采集系统可由放大器、光线示波器和时标组成。

放大器: 放大率在 3~1000 倍可调, 频带在直流至 1kHz 平坦;

光线示波器, 频率响应为 0.06~4kHz, 记录速度在 5~2500mm/s 可调;

时标精度: 10—100—1000Hz \pm 0.5%, 1Hz \pm 2%。

也可采用模数转换数据采集系统; 采样时间为 0.15ms。

4.3.3 测温仪器

在 300~1300K 范围内试样初始温度用焊于试样上或不锈钢垫圈上的热电偶测定。

在 1300~2800K 范围内试样初始温度用精密光学高温计测定。

5 试样

5.1 试样为圆片状, 直径 10mm, 厚度 1~3mm, 选择厚度应使 $\tau/t_c \leq 0.02$ 。特征温度传播时间可按公式 5 计算:

$$t_c = \frac{\delta^2}{\pi^2 \alpha_1} \dots \dots \dots (5)$$

式中: t_c —特征温度传播时间, s;

α_1 —估计被测材料的热扩散率, m^2/s 。

5.2 试样不得有明显的裂纹和孔洞。

5.3 试样前、后表面的平行度应小于 0.01mm, 平面度应小于 0.01mm。

5.4 对透光试样加不透光层。

5.5 试样数量不少于三个。

6 校验

温度在 300~1000K 范围内可用工业纯铁制作标准试样,校验设备和方法的准确度。工业纯铁的热扩散率见附录 A(补充件),测量值与表 A1 所列数据之差应小于 $\pm 5\%$ 。

7 试验程序

7.1 用分度值为 0.01mm 的千分尺测量试样厚度。

7.2 使用热电偶做温度传感器时,将热电偶丝分开 1mm 焊于(或用银泥粘)试样中心部位。

使用硫化铅或硅光电池做温度传感器时,待加热炉升温后,将其对准试样背面。

7.3 将试样装在真空加热炉中,激光束对准试样。

7.4 密封炉盖,抽真空或充氩气,以保证试验后试样质量损失小于 0.5%。

7.5 预热放大器、示波器、使真空加热炉升温,待温度稳定后($\pm 0.5\text{K}/5\text{min}$),按 4.3.3 条测量试样初始温度。

7.6 选择脉冲能量、放大率和示波器的记录速度,使温升曲线(见图 4)上确定的 T_m 、 $T(5t_{0.5})$ 、 $T(10t_{0.5})$ 和 $t_{0.5}$ 的精度达到 $\pm 2\%$ 。

7.7 触发激光,记录试样背面温升曲线。

8 结果处理

8.1 在试样背面温升曲线上确定 $t_{0.5}$ 、 $T(5t_{0.5})/T(t_{0.5})$ 和 $T(10t_{0.5})/T(t_{0.5})$,见图 4。

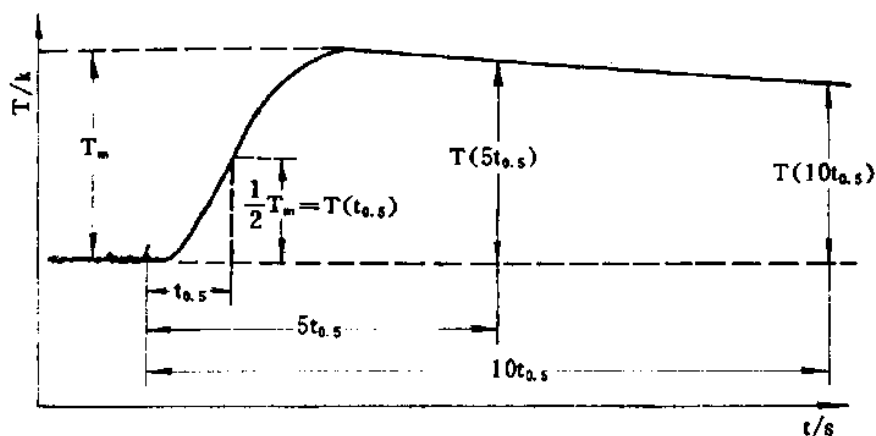


图 4 背面温升曲线

8.2 当 $T(10t_{0.5})/T(t_{0.5}) \geq 1.98$ 时,热损失可忽略,取 $\omega_{0.5} = 0.139$,热扩散率按公式 3 计算。

8.3 当不满足 8.2 条要求时,可由附录 B(补充件)给出的 $T(5t_{0.5})/T(t_{0.5}) - \omega_{0.5}$ 数表查出 $\omega_{0.5}$,再按公式 4 计算。

9 测试误差

在 300~1300K 温度范围内测试误差为±5%；

在 1300~2800K 温度范围内测试误差：石墨为±6%，金属和陶瓷为±10%。

10 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a. 试样名称、尺寸、来样单位和日期；
- b. 材料牌号、成分和状态；
- c. 方法名称、测量结果及试验中异常情况；
- d. 试验人、审核人及日期。

附 录 A
工业纯铁的热扩散率
(补充件)

A1 工业纯铁的热扩散率数据(TPRC 推荐值)见表 A1。

表 A1

温 度 K	热 扩 散 率 $\times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$
273	0.218
293	0.209
298	0.207
300	0.206
323	0.198
350	0.187
373	0.180
400	0.171
423	0.165
473	0.151
500	0.144
600	0.120
700	0.090
800	0.079 7
900	0.061 7
1 000	0.042 3
1 043	0.028 9

附 录 B
 $T(5t_{0.5})/T(t_{0.5})-\omega_{0.5}$ 数表
 (补充件)
 表 B1

$T(5t_{0.5})/T(t_{0.5})$	$\omega_{0.5}$	$T(5t_{0.5})/T(t_{0.5})$	$\omega_{0.5}$
2.00	0.139	1.85	0.119
1.99	0.133	1.835	0.118
1.98	0.131	1.82	0.117
1.97	0.130	1.80	0.116
1.96	0.129	1.785	0.115
1.95	0.128	1.77	0.114
1.945	0.127	1.755	0.113
1.93	0.126	1.735	0.112
1.92	0.125	1.72	0.111
1.91	0.124	1.70	0.110
1.90	0.123	1.68	0.109
1.89	0.122	1.66	0.108
1.875	0.121	1.64	0.107
1.86	0.120	1.62	0.106

附加说明:

本标准由航空航天工业部提出。

本标准由航空航天工业部七〇三所起草。

本标准主要起草人:李铁真。