

## THERMAL DIFFUSIVITY DETERMINATION ON A CERAMIC MIX

JIŘÍ HAVRDA, EVA NOVOTNÁ, FRANTIŠEK OUJŘÍ

*Department of the Technology of Silicates, Institute of Chemical Technology, Suchbátarova 5*

*Department of the Technology of Silicates, Institute of Chemical Technology  
Suchbátarova 5, 166 28 Prague 6*

Received 3. 2. 1983

*The thermal diffusivity coefficient of a water-saturated ceramic mix in plastic state was determined by the two-thermal sources method in which the heat transfer is one-dimensional. Its value was determined experimentally for a porcelain mix with a moisture content of 24.5 %, and suitable conditions for a reliable determination of this coefficient were established.*

### INTRODUCTION

Quantitative description of heat transfer in a saturated ceramic mix requires knowledge of its thermal diffusivity or of its temperature and moisture content dependence. The water-saturated ceramic mix is understood to be a binary mixture of two incompressible components (further on mix), that is of the ceramic material and water. The mix keeps this character up to 323 K. The presence of gaseous phase in the mix can no longer be neglected at higher temperatures. Within the temperature interval  $T \in \langle 273, 323 \rangle$  K the thermal diffusivity of a dry ceramic material is constant. From this it follows that the temperature dependence of the thermal diffusivity of a mix is determined by the temperature dependence of the thermal diffusivity of water. Within the temperature interval considered, a change in temperature by 1 K will bring about a change in thermal diffusivity of pure water by about  $5 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  [1]. In view of the water content in the ceramic mix, the resulting effect of temperature on its conductivity is lower than that in the case of pure water. Within the given temperature range, the temperature dependence of the thermal diffusivity of the mix can therefore be neglected. On the other hand, the dependence of thermal diffusivity on moisture content is significant. Even the contradictory data from the literature [2, 3, 4] which specify relationships with one or two peaks indicate that the change in the moisture content of the mix by 1 % produces a change in its thermal diffusivity by about  $5 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  [4]. It may also be pointed out that there is a lack of data on the temperature characteristics of mixes, particularly as regards porcelain. The present paper has therefore the aim to suggest a method and suitable conditions for reliable determination of the thermal diffusivity coefficient of water-saturated ceramic mixes.

### THE TWO THERMAL SOURCES METHOD

When considering conduction of heat in a homogeneous immobile saturated ceramic body by conduction, without the presence of external forces, the thermal balance has the form [5]:

$$\rho c_p \partial T / \partial \tau = - \operatorname{div} \mathbf{q} \quad (1)$$

where  $\rho c_p$  is the thermal capacity of a unit volume,  $T$  is temperature,  $\tau$  is time and  $\mathbf{q}$  is the thermal flow. The thermal flow through a ceramic body is then described by the equation

$$\mathbf{q} = -\lambda \text{grad } T - \mathbf{q}_c \quad (2)$$

where  $\lambda$  is the thermal conductivity and  $\mathbf{q}_c$  is the thermal flow due to the moisture gradient (Dufour's effect). When  $\lambda$  is constant and on neglecting Dufour's effect, the thermal balance (1) has the following form for a one-dimensional problem:

$$\partial T / \partial \tau = a \partial^2 T / \partial x^2 \quad (3)$$

where  $x$  is the ordinate in the direction of heat transfer and  $a$  is the thermal diffusivity, defined as  $a = \lambda / c_p \rho$ . When considering non-equilibrium conduction of heat in a direction perpendicular to the surface of a semiinfinite body with a planar surface, then from the solution of equation (3) for the initial condition

$$\tau = 0, \quad x \geq 0, \quad T = T_1 \quad (4)$$

and for the boundary conditions

$$\tau > 0, \quad x = 0, \quad T = T_2 \quad (5)$$

$$\tau > 0, \quad x = \infty, \quad T = T_1 \quad (6)$$

the following equation holds for the calculation of the thermal diffusivity [6]:

$$(T - T_1) / (T_2 - T_1) = \text{erfc} (x/2 \sqrt{a\tau}). \quad (7)$$

From the account given above it follows that the two thermal sources method (further on TTSM) for the determination of  $a$  is based on experimental determination of the development of temperature profiles in the body. When considering a plate-shaped body of finite dimensions, the evaluation of  $a$  according to (7) can be employed for short periods of time only, when the conditions (4), (5) are met, together with condition (6) in the form

$$\tau > 0, \quad x = L \equiv \infty, \quad T = T_1 \quad (8)$$

where  $L$  is the length of the body in the direction of heat conduction, which means that a change in temperature at  $x = L$  can be at the most equal to the error involved in the measurements of the temperature profile. The other conditions of the experiment are as follows:

- (i) a homogeneous and constant moisture content in the body at the beginning and in the course of measurement,
- (ii) ensured monodimensionality of the problem and abrupt changes of  $T_1$  to  $T_2$  at  $x = 0$  for  $\tau = 0$ .

On the basis of these conditions, an adjustment was effected of the TTSM employed earlier for measuring the thermodiffusion coefficient [7]. A schematic diagram of the apparatus is shown in Fig. 1. A body of prismatic shape  $3 \times 3$  cm in cross section and  $L = 7$  cm in length, prepared by drawing the mix on a vacuum auger, is first completely coated with lacquer, thus ensuring maintenance of a constant moisture content throughout the body. Body 1 is then placed between prisms 2, 3, through which at first water of temperature  $T_1$  passes for a period  $\tau$ , during which temperature  $T_1$  is uniformly distributed throughout the body volume. The body surface is thermally insulated with foamed polystyrene 4, which prevents heat exchange with the environment. Replacement of prism 2

having the temperature  $T_1$  with prism 3 having the temperature  $T_2$  results in an abrupt change at the body base, i.e. at point  $x = 0$ . Transfer of heat through the body base only, with a suitable insulation of its jacket, ensures unidimensional heat transfer. The temperature distribution in the body is measured by a system of copper-constantan thermocouples.

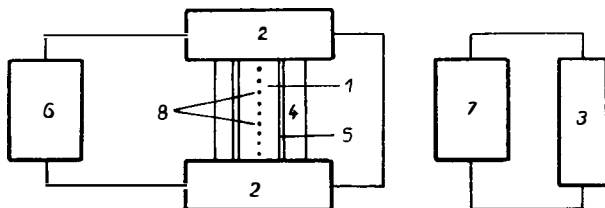


Fig. 1. — Schematic diagram of the apparatus for measuring the temperature profile in a ceramic body;

1 — body, 2 — copper prism at temperature  $T_1$ , 3 — copper prism at temperature  $T_2$ , 4 — polystyrene insulation. 5 — lacquer insulation, 6 — thermostat with water at temperature  $T_1$ , 7 — thermostat with water at temperature  $T_2$ , 8 — thermocouples.

The working procedure thus consists of the following sequential steps:

- on their forming, the bodies are coated with lacquer and placed in a water-saturated medium for a period of 48 hours to achieve uniform moisture distribution throughout the body volume,
- following thermal insulation of the body jacket, this is allowed to be conditioned at temperature  $T_1$ ,
- following replacement of one of the prisms having temperature  $T_1$  with a prism of temperature  $T_2$ , the temperature profiles in the body are measured at various intervals of time,
- from the temperature profiles conforming to the conditions mentioned above, that is those up to  $\tau$ , when  $T_1 = \text{const.}$ , the thermal diffusivity is then calculated from equation (7).

## RESULTS

The procedure described was used for measuring the development of temperature profiles in a saturated body of porcelain mix with an increased content of  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  and a moisture content of 24.5 %. The measurements were carried out 10 times. A typical development of the temperature profile is shown in Fig. 2. The calculated values of the thermal diffusivity from all the measurements are listed in Table I.

## DISCUSSION AND CONCLUSION

The experimental work has shown that expression of the temperature profile on the basis of the values measured depends for the most part on determining the thermocouple position in the body. An error of 1 mm in the determination of the position involves an average error in temperature amounting to 0.3 K, whereas the error involved in temperature measurement with the thermocouple amounts to 0.02 K. The accuracy of position determination of 0.5 mm, maintained in the study, means that the value  $T_1 = \pm 0.15\text{K}$  is considered constant from the stand-

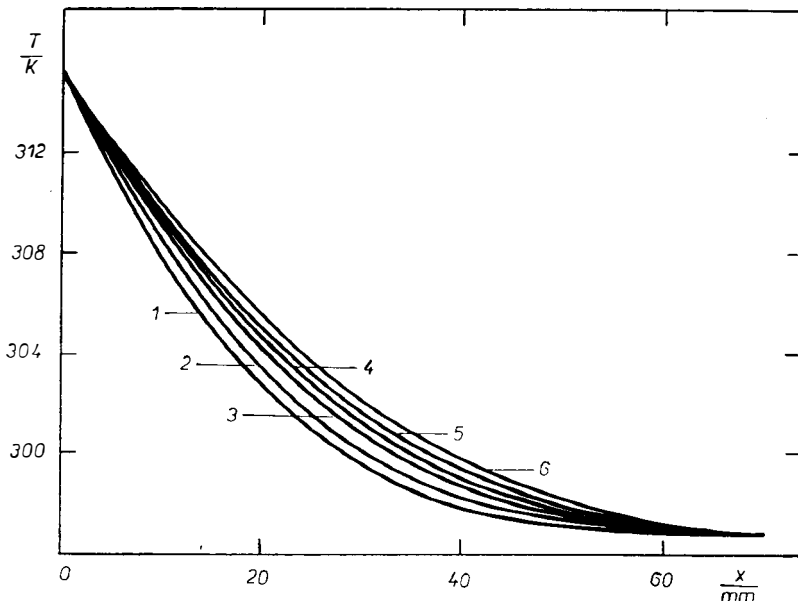


Fig. 2. — Time development of temperature profile in the body for  $\tau \in \langle 300, 600 \rangle$  s; 1 —  $\tau = 300$  s, 2 —  $\tau = 360$  s, 3 —  $\tau = 420$  s, 4 —  $\tau = 480$  s, 5 —  $\tau = 540$  s, 6 —  $\tau = 600$  s

Table I

Thermal diffusivity calculated from the temperature profiles measured

Measurement No.	$a \times 10^6 / m^2 s^{-1}$					
	300 s	350 s	420 s	480 s	540 s	600 s
1	0.72	0.70	0.70	0.69	0.68	0.67
2	0.73	0.73	0.69	0.69	0.69	0.66
3	0.71	0.71	0.70	0.68	0.68	0.66
4	0.71	0.71	0.71	0.70	0.68	0.67
5	0.77	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74
6	0.71	0.71	0.70	0.70	0.69	0.67
7	0.77	0.78	0.75	0.73	0.72	0.71
8	0.75	0.75	0.71	0.70	0.70	0.68
9	0.77	0.77	0.74	0.73	0.71	0.69
10	0.80	0.75	0.73	0.71	0.68	0.68

point of the experiment. The given dispersion also depends on the ability of the source to keep a constant temperature. The evaluated developments of the temperature profile indicated that for a body of the given mix the condition was complied with up to the 10th minute of measurement. The partial increase in  $T_1$  temperature within this time interval is connected with the failure to comply with the condition of semi-infinite medium, which results in a decrease of thermal diffusivity in terms of time (Table I). It was also found that equalization of the

initial temperature  $T_1$  throughout the body volume takes 1.5 hour. It was further demonstrated that temperature  $T_1$  is most suitably determined by linear approximation of the temperature distribution throughout the body in the equalized state in the beginning of the measurement. A similar procedure can be used for evaluating temperature  $T_2$ . It may be concluded that when the conditions mentioned above are complied with, the method suggested allows the thermal diffusivity coefficient of a water-saturated ceramic mix to be determined with considerable reliability. For the water-saturated porcelain mix with a moisture content  $w = 24.5\%$ , its mean value was

$$\bar{a} = (0.72 \pm 0.03) \times 10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-1}.$$

References:

- [1] Míka V.: *A Collection of Chemical Engineering Problems* (in Czech). SNTL/ALFA, Prague 1978.
- [2] Kľuvanec D.: *The Effect of Moisture Content on Thermal Diffusivity of Disperse Materials* (in Slovak). Paper of the Pedagogical Faculty at Nitra, 59, 1972.
- [3] Kaufman B. N.: *Thermal Conductivity of Building Materials* (in Russian). Moscow 1955.
- [4] Chudnovskiy A. F.: *Thermally Physical Characteristics of Dispersive Materials* (in Russian). GIFML, Moscow 1962.
- [5] De Groot S. R., Mazur P.: *Nonequilibrium Thermodynamics*. North-Holland, Amsterdam 1962.
- [6] Carslaw H. S., Jaeger J. C.: *Conduction of Heat in Solids*. Clarendon Press, Oxford 1959.
- [7] Havrda J., Oujíř F., Macháček J.: *Silikáty* 26, 299, 1982.

STANOVENÍ KOEFICIENTU TEPLOTNÍ VODIVOSTI KERAMICKÉ SMĚSI

Jiří Havrda, Eva Novotná, František Oujíř

*Katedra technologie silikátů, Vysoká škola chemicko-technologická, 166 28 Praha*

Na stanovení koeficientu teplotní vodivosti vodou nasycené keramické směsi v plastickém stavu byla aplikována metoda dvou tepelných zdrojů, při níž je vedení tepla jednorozměrné. Metoda modeluje vedení tepla v polonekonečném prostředí a vyhodnocení koeficientu teplotní vodivosti je provedeno z analytického řešení Fourier-Kirchhoffovy rovnice pro neustálý proces. Jsou určeny podmínky metody pro spolehlivé stanovení koeficientu teplotní vodivosti. Experimentálně je stanovena jeho hodnota ve vodou nasycené porcelánové směsi s vlhkostí 24,5 % a uvedeny nejvýznamnější faktory ovlivňující tuto hodnotu.

Obr. 1. Schéma aparatury pro měření teplotního profilu v tělese;

1 — těleso, 2 — měděný hranol s teplotou  $T_1$ , 3 — měděný hranol s teplotou  $T_2$ , 4 — polystyrénová izolace, 5 — laková izolace, 6 — termostat s vodou o teplotě  $T_1$ , 7 — termostat s vodou o teplotě  $T_2$ , 8 — termočlánky.

Obr. 2. Časový vývoj teplotního profilu v tělese pro

$\tau \in \langle 300, 600 \rangle$  s

1 —  $\tau = 300$  s, 2 —  $\tau = 360$  s, 3 — 420 s, 4 —  $\tau = 480$  s, 5 — 540 s, 6 —  $\tau = 600$  s.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ  
КЕРАМИЧЕСКОЙ СМЕСИ

Иржи Гаврда, Эва Новотна, Франтишек Оуиржи

*кафедра технологии силикатов, Химико-технологический институт  
168 28 Прага*

Для определения коэффициента температуропроводности насыщенной водой керамической смеси в пластическом состоянии применяли метод двух тепловых источников, при котором теплопроводность одномерна. Метод моделирует теплопроводность

в полубесконечной среде и оценка коэффициента температуропроводности проводится на основании аналитического решения уравнения Фурьера-Кирхгоффа для непрерывного процесса. Устанавливаются условия метода для надежного определения коэффициента температуропроводности. Экспериментальным путем устанавливается его величина в насыщенной водой фарфоровой смеси с влажностью 24,5 % и приводятся важнейшие факторы, оказывающие влияние на данную величину.

Рис. 1. Схема аппаратуры для измерения температурного профиля в теле; 1 — тело, 2 — медная призма с температурой  $T_1$ , 3 — медная призма с температурой  $T_2$ , 4 — полистирольная изоляция, 6 — термостат с водой с температурой  $T_1$ , термостат с водой с температурой  $T_2$ ; 8 — термозащиты.

Рис. 2. Временное развитие температурного профиля в теле для  $\tau \in \langle 300, 600 \rangle$  с: 1 —  $\tau = 300$  с, 2 —  $\tau = 360$  с, 3 —  $\tau = 420$  с, 4 —  $\tau = 480$  с, 5 —  $\tau = 540$  с, 6 —  $\mu = 600$  с.

---

N. MOTT, E. DEVIS: ELEKTRONNYJE PROCESSY  
V NEKRISTALLIČESKICH VEŠČESTVACH (Elektronové procesy v nekystalických látkách. Mir, Moskva 1982, 2 díly, celkem 663 str., cena 5 r. 50 k. (70 Kčs).

Monografie je ruským překladem druhého vydání „Elektron processes in non-crystalline materials“ od N. F. Motta a E. A. Davise z university v Cambridge, které vyšlo v nakladatelství Clarendon Press, Oxford v roce 1979. První z autorů, dnes 78-letý profesor Nevill Francis Mott, je laureátem Nobelovy ceny za fyziku z roku 1977, jediné, která byla zatím udělena výlučně za práce v oboru amorfních látek.

Oproti prvnímu vydání z roku 1971, které bylo přeloženo též do češtiny a vydáno jako ofsetový tisk Jednotou čs. matematiků a fyziků v Praze v roce 1974, je větší část knihy přepracována a rozšířena o nejdůležitější výsledky vývoje v tomto oboru ze sedmdesátých let. Patří mezi ně např. pochopení elektrických vlastností křemíku, vystaveného doutnavému výboji, poznatek, že tento prvek lze legovat, pokusy s vodivostí na rozhraní křemíku a  $\text{SiO}_2$ , které spolu s výpočty dvojitých soustav dokazují její existenci, dále výpočty energetických spekter elektronových a fononových stavů v modelech s reálnou strukturou, vzrůstající význam polaronové koncepce u chalkogenidových a silikátových skel, porozumění dalším elektrickým, magnetickým a optickým vlastnostem těchto látek aj.

Knihla je rozdělena do dvou dílů. V úvodních kapitolách prvního dílu se probírají teoretické koncepce, spojené s poznáním elektronových procesů v nekystalických látkách, zejména elektrická vodivost a optická absorpce. Ve třetí kapitole se pojednává o interakcích elektronů nebo vakancí jako nositelů proudu s fonony a o deformaci mřížky kolem zachyceného nebo volného nositele. Čtvrtá kapitola vysvětluje jevy, probíhající v degenerovaném elektronovém plynu neuspořádané soustavy. Jsou zde uvedeny četné příklady Andersonova přechodu a probrán Mottův přechod kov — dielektrikum. Pátá kapitola popisuje vlastnosti kapalných kovů a polokovů. V šesté kapitole se pojednává o některých experimentálních metodách, používaných ke studiu vlastností nekystalických polovodičů.

První dvě kapitoly druhého dílu se věnují metodám přípravy, popisu struktury a některým elektrickým a optickým vlastnostem amorfního křemíku, germania, arsenu, antimonu a fosforu. Poslední dvě kapitoly probírají vlastnosti chalkogenidových a krátce i oxidových skel, dále amorfního selenu, teluru a jejich slitin. V knize je uvedeno 1490 literárních odkazů, převážně ze sedmdesátých let. Mezi nimi je však jen 10 prací z ČSSR.

I když je monografie svým celkovým pojetím poplatná oblasti vlastních vědeckých zájmů autorů, přináší specialistům na fyziku a techniku polovodičů, pracovníkům z mikroelektronického průmyslu, studentům a jiným zájemcům dosud nejrozsáhlejší, byť dalším vývojem už zase poněkud překonané poučení v oboru, který se ve světě intenzivně zkoumá a který má slibné praktické perspektivy.

J. Dvořák