

Tepelná vodivosť penového polystyrénu v oblasti bodu zvratu II. poriadku

A. LODES, M. BAFRNEC

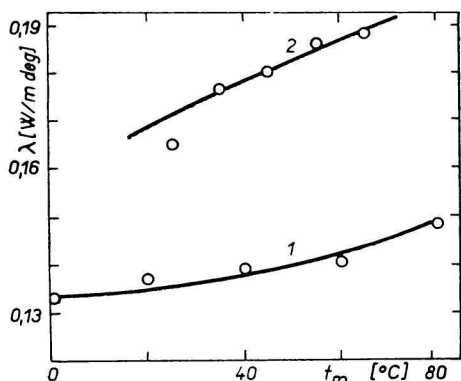
*Katedra procesov a zariadení chemickej technológie Slovenskej vysokej školy technickej,
Bratislava*

Meral sa súčiniteľ tepelnej vodivosti λ pri dvoch druhoch penového polystyrénu o rôznej hustote. Sledovala sa závislosť λ od strednej teploty. Získané vzťahy umožňujú výpočet súčiniteľa tepelnej vodivosti v rozsahu strednej teploty 5—40 °C.

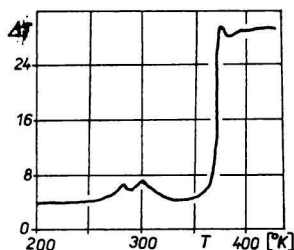
Medzi najpoužívanjšie tuhé tepelnoizolačné materiály možno v poslednom čase zaradiť penový polystyrén. Preto sa študujú všetky jeho vlastnosti, aby sa mohol určiť rozsah jeho možného použitia [1—3].

Autori [1, 2] zistili, že závislosť súčiniteľa tepelnej vodivosti plného polystyrénu od teploty v rozsahu 0—100 °C je približne lineárna. Zistené výsledky sú na obr. 1.

Neskoršie B. Wunderlich [3] študoval vlastnosti polystyrénu pomocou dynamickej diferenčnej termickej analýzy (DDTA). Zistil, že v oblasti teplôt 5—50 °C vykazuje materiál výraznú zmenu vlastností. Pretože tepelná vodivosť, ako aj diferenčná termická analýza odzrkadľujú zmeny kinetického pohybu molekúl vnútri látky, možno predpokladať, že zistená anomália sa v oboch prípadoch prejaví rovnako. Z toho vyplýva, že údaje uvedené v prácach [1, 2] nie sú všeobecne platné a pri presnejšom meraní závislosti $\lambda = f(t_m)$ v uvažovanej oblasti možno očakávať podobný priebeh, aký získal B. Wunderlich [3] pri zápise DDTA (obr. 2).



Obr. 1. 1. Závislosť podľa D. E. Klineho [1], hustota 1060 kg/m³; 2. závislosť podľa L. N. Čerkasovovej [2], hustota 1050 kg/m³.



Obr. 2. Zápis DDTA polystyrénu podľa B. Wunderlicha [3].

Hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti polyméru závisí od súhrnu vibračných pohybov molekúl, ktorý je podmienený prítomnosťou segmentov reťazca makromolekuly.

So zmenou teploty polyméru dochádza k zmene energie systému. Zvýšenie teploty polyméru vyvoláva spravidla zoslabenie väzieb medzi aktívnymi makromolekulami a spôsobuje zintenzívnenie ich pohybu, obrazom čoho je monotónny rast funkcie závislosti λ od teploty. Tomuto prejavu nezodpovedajú iba také teplotné intervaly, v ktorých dochádza k zmene štruktúry materiálu a k fázovej premene. Prechod z kryštalického usporiadania na amorfné sa prejavuje výraznou zmenou tepelnej vodivosti, pretože sa mení charakter väzieb a schopnosť reagovať na energetické impulzy prostredia.

Okrem významu spočívajúceho v určení fázovej alebo inej vnútornej premeny polyméru možno závislosť súčiniteľa tepelnej vodivosti od teploty použiť pri výpočtoch prestupu tepla vedením a prechodu tepla v zložených systémoch.

Experimentálna časť

Materiály a meranie

Meral sa súčiniteľ tepelnej vodivosti pri dvoch druhoch penového polystyrénu. Jedna vzorka mala hustotu 22,6 kg/m³ a výsledky sa označili indexom *T*. Druhá vzorka mala hustotu 17,7 kg/m³ a získané výsledky sa označili indexom *L*.

Na meranie sa použil doskový prístroj so stacionárnym teplotným polom; opis sa uvádza v práci [4]. S ohľadom na predpokladanú možnosť výraznej anomálie, určenú v práci [3], merania sa robili v intervale stredných teplôt t_m 5–40 °C.

Výsledky uvedené ďalej sú aritmetickým stredom zo 6 meraní v jednododinových až dvojhodinových intervaloch. Súčiniteľ tepelnej vodivosti sme počítali zo vzťahu

$$\lambda = \frac{q \cdot d}{\Delta t - q \cdot w},$$

kde q = množstvo tepla privedené na ohrevnú dosku,

d = hrúbka meraného materiálu,

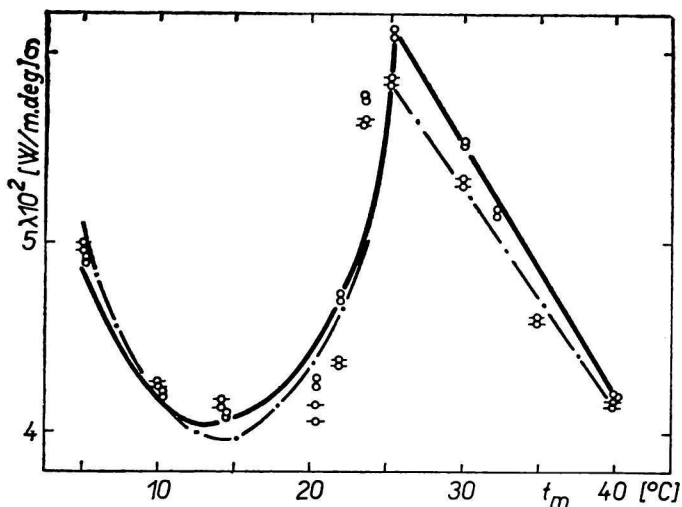
Δt = teplotný rozdiel medzi ohrevnou a chladiacou doskou,

w = opravný súčiniteľ na prechodné tepelné odpory. Hodnotu w sme určili z meraní rovnakého materiálu o rôznej hrúbke podľa predchádzajúceho vzťahu.

Vypočítanú hodnotu súčiniteľa tepelnej vodivosti sme priradili strednej teplote t_m , vypočítanej ako aritmetický stred z teplôt na vstupoch a výstupoch ohrevnej a chladiacej dosky. Teplotný rozdiel medzi chladiacou a ohrevnou doskou bol pri všetkých meraniach 9–10 °C.

Výsledky

Experimentálne hodnoty pre obidva druhy polystyrénu sú zakreslené na obr. 3. Predpokladaný rozdiel od priebehu závislosti určenej autormi [1, 2] je zrejmy. Potvrďuje náš predpoklad o podobnosti priebehu so zápisom z DDTA.



Obr. 3. Závislosť súčiniteľa tepelnej vodivosti penového polystyrénu od teploty.

———— hustota 22,6 kg/m³;
 -.-.-.- hustota 17,7 kg/m³.

Závislosť celého rozsahu funkcie v oboch prípadoch možno rozdeliť na dve časti. Kvadratickú závislosť v rozsahu stredných teplôt 5—25 °C aproximujeme vzťahmi

$$\lambda_L^{-1} = 11,002 + 1,983 t_m - 0,0688 t_m^2, \quad (1)$$

$$\lambda_T^{-1} = 14,573 + 1,457 t_m - 0,0524 t_m^2. \quad (2)$$

V oblasti stredných teplôt 25—40 °C aproximujeme experimentálne výsledky lineárnymi vzťahmi:

$$\lambda_L = 0,0877 - 0,00115 t_m, \quad (3)$$

$$\lambda_T = 0,0942 - 0,0013 t_m. \quad (4)$$

Súčiniteľ tepelnej vodivosti vypočítaný podľa vzťahu (1—4) sa udáva vo W/m deg.

Tabuľka 1

Porovnanie vzťahov (1) a (2) s experimentálnymi hodnotami λ_e

Veličina	Vzťah (1)				Vzťah (2)			
t_m [°C]	5,2	10,2	14,3	25,3	5,2	10,2	14,3	22,0
λ_e [W/m deg]	0,0498	0,0424	0,0415	0,0588	0,0492	0,0433	0,0427	0,0474
λ_v [W/m deg]	0,0514	0,0415	0,0395	0,0583	0,0483	0,0417	0,0405	0,0470
$\frac{\lambda_e - \lambda_v}{\lambda_e} \cdot 100$	3,2	2,1	4,8	0,9	1,8	3,7	5,1	0,8

Krivky na obr. 3 vyjadrujú priebeh funkcie podľa uvedených vzťahov. Porovnanie experimentálnych hodnôt s hodnotami vypočítanými podľa rovníc (1—4) je uvedené v tab. 1 a 2.

Tabuľka 2
Porovnanie vzťahov (3) a (4) s experimentálnymi hodnotami λ_e

Veličina	Vzťah (3)				Vzťah (4)			
	25,3	30,1	35,0	40,1	25,3	30,1	32,0	40,1
t_m [°C]	0,0588	0,0535	0,0460	0,0416	0,0614	0,0553	0,0520	0,0418
λ_e [W/m deg]	0,0586	0,0531	0,0474	0,0416	0,0613	0,0551	0,0526	0,0421
$\frac{\lambda_e - \lambda_v}{\lambda_e} \cdot 100$	0,3	0,7	3,0	0	0,1	0,3	1,2	0,8

Údaje v prácach [1, 2] sa vzťahujú na plný polystyrén a použitý interval teploty medzi jednotlivými experimentálnymi bodmi je veľký. To môže byť dôvodom, prečo autori získali približne lineárne závislosti. Pri látkach, ktoré môžu vykazovať minimá alebo maximá, treba v dôsledku štrukturálnych zmien voliť hustejšiu interpoláciu sledovanej závislosti.

Výsledky na obr. 2 v porovnaní s obr. 3 alebo so vzťahmi (1—4) poukazujú na to, že priebeh zmeny závislosti, určenej B. Wunderlichem [3] pri dynamickej diferenčnej termickej analýze, je totožný s priebehom funkcie $\lambda = f(t_m)$. Funkcia na obr. 2 vykazuje maximá pri teplotách približne 300 a 278 °K, čo sú krajné hodnoty z intervalu platnosti vzťahov (1) a (2). V ďalšej oblasti v zhode s priebehom funkcie na obr. 2 súčiniteľ tepelnej vodivosti klesá. Zistená zhoda vyplýva z podobnosti obidvoch dejov. Z výsledku je zrejma existencia bodu zvratu II. poriadku, ktorý sa prejavuje znížením pohybu fenylových skupín okolo rovnovážneho bodu, ako to uvádza práca [3].

Z hľadiska tepelnoizolačných vlastností najvhodnejšia voľba strednej teploty systému je v minime funkcií (1) a (2). Táto podmienka je splnená pri teplote 14,5 °C v prípade ľahšieho polystyrénu a pri teplote 13,9 °C v prípade ťažšieho polystyrénu. Požiadavku minima možno splniť voľbou okrajových teplôt systému.

Záver

Súčiniteľ tepelnej vodivosti penového polystyrénu v závislosti od strednej teploty v teplotnom intervale 5—40 °C sme merali metódou stacionárneho

Tabuľka 3

Hustota kg/m ³	Konštanta		
	a	b	c
17,7	11,002	1,983	0,0688
22,6	14,573	1,457	0,0524

Tabuľka 4

Hustota kg/m ³	Konštanta	
	λ_0	α
17,7	0,0877	0,00115
22,6	0,0942	0,0013

teplotného pola. Experimentálne výsledky možno v oblasti stredných teplôt 5—25 °C aproximovať vzťahom

$$\lambda^{-1} = a + bt_m - ct_m^2,$$

kde konštanty závisia od hustoty materiálu a majú hodnoty uvedené v tab. 3.

V intervale stredných teplôt 25—40 °C platí lineárna závislosť:

$$\lambda = \lambda_0 - \alpha t_m,$$

kde konštanty λ_0 a α závisia od hustoty penového polystyrénu a majú hodnoty uvedené v tab. 4.

ТЕПЛОПРОВОДИМОСТЬ ТВЕРДОГО ПОЛИСТИРОЛА В ОБЛАСТИ ТОЧКИ ПЕРЕХОДА II-ГО ПОРЯДКА

A. Лодес, М. Бафрнец

Кафедра процессов и аппаратов химической технологии Словацкого политехнического института, Братислава

Зависимость коэффициента теплопроводности пенового полистирола от температуры показывает в диапазоне от 5-ти до 40° выразительную аномалию. В отличие от предыдущих работ обнаружилось, что в приведенном температурном интервале зависимость нелинейная.

На основании экспериментальных данных вывелись соотношения для расчета коэффициента теплопроводности изучаемых материалов.

Preložil M. Fedoroňko

WÄRMELEITFÄHIGKEIT DES SCHAUMPOLYSTYROLS IM GEBIET DES UMKEHRPUNKTS II. ORDNUNG

A. Lodes, M. Bafrnec

Lehrstuhl für Verfahrenstechnik und Anlagen der chemischen Technologie der Slowakischen Technischen Hochschule, Bratislava

Die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit des Schaumpolystyrols von der Temperatur weist im Bereich von 5 bis 40 °C eine ausgeprägte Anomalie auf. Zum Unterschied von den vorangegangenen Arbeiten wurde festgestellt, daß in dem angeführten Temperaturintervall keine lineare Abhängigkeit besteht.

Auf Grund experimenteller Ergebnisse wurden für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit der untersuchten Materialien die Beziehungen abgeleitet.

Preložil K. Ullrich

LITERATÚRA

1. Kline D. E., *J. Polymer Sci.* **50**, 441 (1961).
2. Čerkasova L. N., *Ž. fiz. chim.* **33**, 1928 (1959).
3. Wunderlich B., Bodily D. M., *J. Polymer Sci.* **6**, 137 (1964).
4. Bafrnec M., Lodes A., *Chem. průmysl* **3**, 171 (1966).

Do redakcie došlo 23. 8. 1966

Adresa autorov:

Ing. Antonín Lodes, CSc., Ing. Milan Bafrnec, Katedra procesov a zariadení chemickej technológie SVŠT, Bratislava, Jánska 1.