

ZARIADENIE NA STANOVENIE DOBY PRIECHODU TUHEJ ČASTICE USTÁLENÝM TEPLOTNÝM POLOM

IVAN NERÁD, IVO PROKS, IGOR ZLATOVSKÝ

Ústav anorganickej chémie Centra chemického výskumu SAV,
Dúbravská cesta 5, 842 36 Bratislava

Došlo 30. 5. 1983

Opisuje sa zariadenie na meranie niektorých kinetických veličín reakcií malých častíc (0,04—0,4 mm) kondenzovaných fáz počas krátkych časových intervalov (0,2—2 s) v teplotnej oblasti 800—1 400 °C a vo voľiteľnej atmosfére. Relatívna chyba stanovenia doby zohrevu je 6—10 %. Stupeň premeny sledovaného procesu sa stanoví vhodnou analytickou metódou alebo fázovou analýzou.

ÚVOD

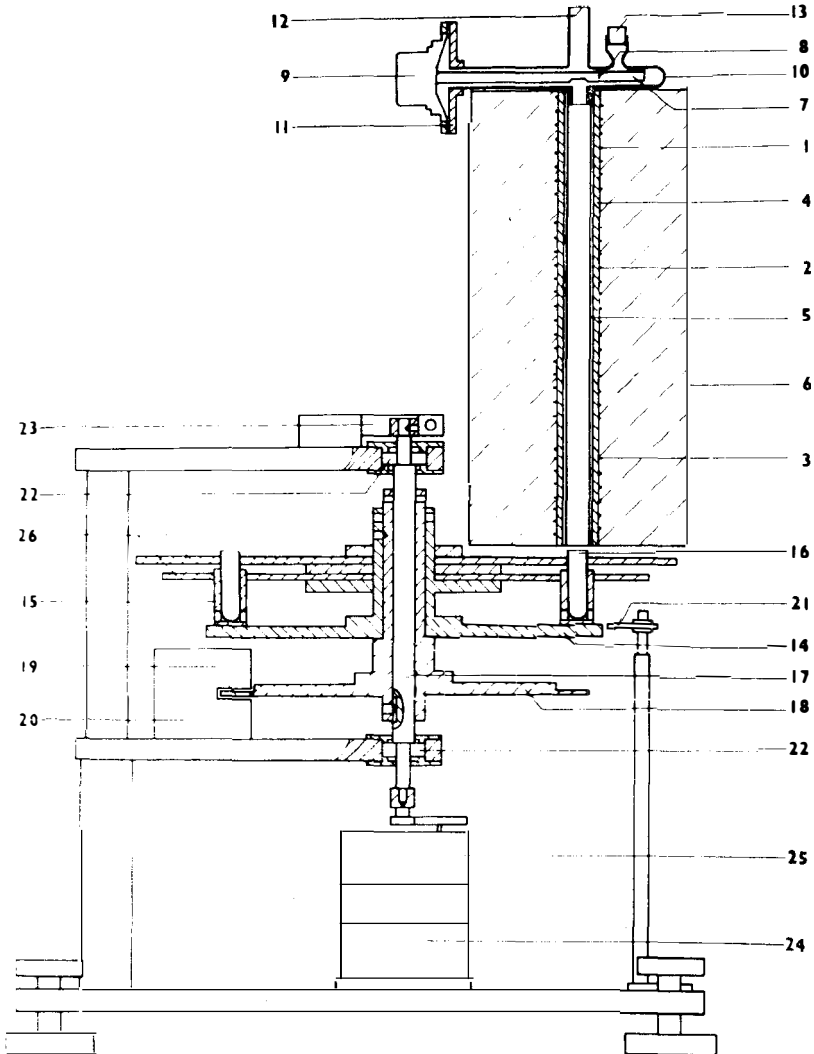
Kvantitatívny opis mnohých endotermických technologických procesov vyžaduje stanovenie zmien stupňa premeny počas krátkych časových intervalov. Pri štúdiu týchto časových závislostí treba realizovať krátkodobé zohrevy sledovaných vzoriek, spojené s dostatočne presným meraním času. Opísané zariadenie umožňuje uskutočniť takéto zohrevy v teplotnom intervale (800 °C, 1 400 °C). Princíp jeho funkcie je nasledujúci: Malé množstvo častíc vzorky sa vnesie do hornej časti vertikálnej výhrevnej trubice pece s prevládajúcou izotermickou zónou, v časovom intervale, ktorý je porovnateľný s chybou určenia doby zohrevu častíc. Pod pecou sa otáča konštantnou rýchlosťou zachytávací kotúč. Doba prepadu častíc výhrevnou trubicou (t. j. doba zohrevu častíc) je priamo úmerná uhlu, o ktorý sa otočí kotúč, zachytávajúci vzorku od okamihu vnesenia vzorky do výhrevnej trubice až do okamihu jej vypadnutia z pece. Meraná doba zohrevu častíc závisí od výšky použitej pece, od veľkosti, tvaru a hustoty častíc, od štruktúry ich povrchu, od teploty a pecnej atmosféry a môže nadobúdať hodnoty od niekoľkých desiatín až do niekoľkých sekúnd. Stupeň premeny zachytených vzoriek sa určí vhodnou analytickou metódou alebo fázovou analýzou.

OPIS ZARIADENIA

Prístroj na stanovenie kinetických veličín reakcií, ktorých sa zúčastňujú malé častice kondenzovaných látok pri ich krátkodobom chreve, sa skladá z dvoch hlavných častí: zo zariadenia na meranie doby zohrevu a z vymeniteľnej pece s prevládajúcou izotermickou zónou. Obidve tieto hlavné časti sú schmaticky znázornené na obr. 1.

Zariadenie na meranie doby výpalu pozostáva a) z nasypávacej časti a b) zo zachytávacej časti.

a) Vzorka sa do pece nasypáva pomocou vibračnej lyžičky (7) (obr. 1) zhotovenej z tenkého plechu (0,1 mm). Prepážka lyžičky (8) slúži na uzatvorenie zásobníka



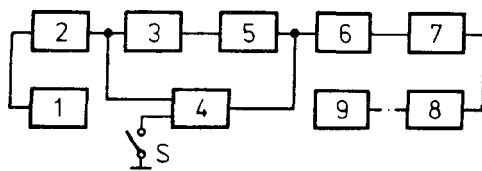
Obr. 1. Zariadenie na meranie doby zúhrevu a pec s predĺženou izotermickou zónou; 1, 2, 3 — vyhrievacie vinutie PtRh 10, 4 — keramickú trubicu, 5 — pecná trubicu z Pt, 6 — plášť pece, 7 — vibračná lyžička, 8 — prepážka vibračnej lyžičky, 9 — reproduktor Tesla ARZ 037, 10 — puzdro z SiO₂-skla, 11 — kovová príruba na uchytenie reproduktora, 12 — okienko pozorovacej trubice, 13 — uzáver plniacej trubice, 14 — zachytávací kotúč, 15 — držiaky zachytávacích kyvety, 16 — zachytávacie kyvety, 17 — hriadeľ kotúčov, 18 — synchronizačný kotúč, 19 — štrbina, 20 — fotoelektrický spúšťač, 21 — nónius, 22 — guľičkové ložiská, 23 — aretačné zariadenie, 24 — synchronný motorček, 25 — prevodová skriňa, 26 — ochranné azbestové kotúče.

nasypávaného materiálu a výška otvoru v prepážke určuje hrúbku vrstvy nasypávanej vzorky, ktorá sa posúva k nasypávaciemu otvoru. Optimálne jednotlivé dávky vzorky sa dosiahli pri hrúbke vrstvy 0,5–1 mm a šírke asi 3 mm. Premenu elektrických impulzov na mechanické kmity vibračnej lyžičky obstaráva dynamic-

ký reproduktor Tesla ARZ 087 ($\varnothing = 38$ mm) (9), na membráne ktorého je lyžička upevnená. Táto sústava elektromechanického zdroja kmitania a vibračnej lyžičky umožňuje v dostatočne krátkom čase vnieť do pece optimálne množstvo vzorky.

Povely pre nasypávanie vzorky vibračnou lyžičkou sa odvodja od prechodov štrbiny (19) na obvode synchronizačného kotúča (18) (viď ďalej) nastavenou polohou fotoelektrického snímača. Počas zvolenej doby nastáva potom impulzné budenie elektromechanického člena, ktorý vykoná vlastné nasypávanie. Množstvo nasypanej vzorky závisí od amplitúdy, frekvencie a striedy budiacich impulzov, od nastavenej doby nasypávania, od geometrie vrstvy nasypávaného materiálu, ktorý sa posúva po vibračnej lyžičke k nasypávaciemu otvoru a od veľkosti a tvaru nasypávaných častíc.

Bloková schéma nasypávacej časti zariadenia na meranie doby záhrevu je na obr. 2.



Obr. 2. Bloková schéma vhadzovacej časti zariadenia na meranie doby záhrevu; 1 — fotoelektrický snímač, 2 — Schmittov klopňý obvod, 3 — derivačný obvod, 4 — hradlo vstupu, 5 — monostabilný klopňý obvod, 6 — astabilný klopňý obvod, 7 — výkonový zosilňovač, 8 — elektromechanický člen, 9 — vibračná lyžička, S — spínač.

Fotoelektrický snímač (1) (obr. 2) riadi svojim signálom Schmittov klopňý obvod (ďalej SKO) (2) tak, že pri prechode štrbiny v obvode synchronizačného kotúča sa mení logická úroveň výstupu SKO z hodnoty L na hodnotu H , pričom tieto úrovně napätia odpovedajú bežnej TTL pozitívnej logike. Derivačný obvod (3) odvodí z tejto zmeny spúšťači impulz pre spustenie monostabilného klopňého obvodu (5) (ďalej MKO). Hradlo vstupu (4) pri zapnutom spínači S umožní počas trvania impulzu MKO činnosť astabilného klopňého obvodu (6) (ďalej AKO), ktorý svojimi kmitmi s nastavenou frekvenciou a striedou budí výkonový zosilňovač (7), ktorý ovláda elektromechanický člen (8), mechanicky spojený s vibračnou lyžičkou (9).

Rozpojením spínača S sa vyradí z funkcie MKO tak, že AKO kmitá po celý čas osvetlenia fotoelektrického snímača (1) cez štrbinu synchronizačného kotúča. Tento režim sa používa pri nastavovaní synchronizmu zariadenia a tiež pri vysýpaní zvyšnej vzorky zo zásobníka pri prerušení pokusu.

Vibračná lyžička je uzatvorená v puzdre z SiO_2 — skla (10) (obr. 1), napojenom na pevnú trubicu (5) a ukončenom pritmelenou kovovou prírubou (11) na uchytenie elektromechanického zdroja kmitania (9). K puzdru sú pritavené 3 trubičky, ktoré slúžia na spojenie puzdra s pevnou trubicou, na pozorovanie častíc vzorky v peci a na plnenie zásobníka vibračnej lyžičky, resp. na prívod plynu do pece. Pozorovacia trubica je uzatvorená okienkom (12) a plniaca trubica uzáverom (13). Pozorovacou trubicou možno cez nasypávací otvor vibračnej lyžičky viesť kontrolný termočlánok na meranie teploty v peci. Uzatvorením horného konca pecnej trubice puzdrom (10) sa do značnej miery obmedzila konvekcia plynu v peci, ktorá pri otvorenej peci zabráni prepadnutiu častíc menších rozmerov.

b) Pod pecou sa otáča duralový zachytávací kotúč (14) s osemnástimi držiakmi kyviet (15), rozmiestnenými v rovnakých vzdialenostiach po jeho obvode, opatrený uhlovou stupnicou. Kyvety (16), prechádzajúce tesne pod ústím pecnej trubice (5), zachytávajú prepadnuté častice vzorky. Aby sa zabránilo deformácii zachytávacieho kotúča, spôsobenej zahrievaním jeho vonkajšieho obvodu dolným koncom pece, je tepelne izolovaný dvoma ochrannými kotúčmi z azbestového papiera (26). Pod zachytávacím kotúčom s kyvetami sa nachádza synchronizačný duralový kotúč (18) so štrbinou (19), ktorý je súčasťou fotoelektrického systému spúšťania vibračnej lyžičky a ktorý prechádza vybraním v telese fotoelektrického spúšťača (20).

Synchronizačný kotúč (18) možno nastaviť natočením okolo osi spoločného hriadeľa (17) do ľubovoľnej polohy vzhľadom na kotúč s kyvetami (14) a tým nastaviť uhol φ , s vrcholom v ose otáčania, ktorého ramená prechádzajú osou odberovej kyvety v okamihu vhadzovania a osou pece. Tento uhol, ktorý sa pre zvolenú kyvetu odčítava na uhlovej stupnici zachytávacieho kotúča pomocou nónia (21), odpovedá časovému predstihu vhadzovania pred vypadnutím vzorky z pece a teda aj dobe výpalu.

Hriadeľ kotúčov (17), uložený v guľčkových ložiskách (22), má aretačne zariadenie (23), ktoré sa používa pri ciachovaní prístroja. Je poháňaný synchronným motorčekom (24) cez prevodovú skriňu (25), ktorá dovoľuje použiť pri meraniach nasledujúce frekvencie otáčania: $\omega/\text{min}^{-1} = 1, 2, 3, 6, 12, 24, 30$ a 60.

Otáčky kotúčov sa volia tak, aby všetky častice, vnesené do pece pri jednom nasypaní, prepadli výhrevnou trubicou počas jednej otáčky kotúča s kyvetami. V každej kyvete sa takto zachytia iba častice s časom zahrevu, odpovedajúcim uhlu $\varphi < 360^\circ$.

Vymeniteľná pec s prevládajúcou izotermickou zónou je konštruovaná tak, aby sa dosiahlo čo najväčšie rozšírenie pásma homogénnej teploty po celej jej výške. Výhrevnými elementami pece sú tri nízkoohmové vinutia (1), (2) a (3) zo zliatiny PtRh 10 so samostatnou reguláciou príkonu, upevnené na trubici zo slinutého korundu (4) o vnútornom priemere 12 mm. Keramickou trubicou prechádza platinová rúrka (5) ($\varnothing = 10$ mm), ktorá rozširuje izotermické pásmo vedením tepla k oboj koncom. V priestore medzi keramickou trubicou a platinovou rúrkou sú umiestnené tri termočlánky PtRh 10 – Pt ($\varnothing = 0,2$ mm), slúžiace ako snímače teploty v jednotlivých pásmach pece pre jej reguláciu. Tepelná izolácia pece je z lahčeného šamotu. Pec je uložená v kovovom plášti (6). ●bidve čelá pece sú bez ochranného plechu, aby bolo možné navinúť obidve krajné vinutia až ku koncom pece. Vonkajší priemer pece je cca 10 cm; výška pece určuje dobu ohrevu. Pri teplote 1 200 °C sú odpory obidvoch krajných vinutí pece o celkovej výške 198 mm rovné 1,8 Ω (príkony asi 170 W). Výška pásma homogénnej teploty, udržiavanej v rozmedzí $\pm 7,5$ °C, je u tejto pece asi 135 mm.

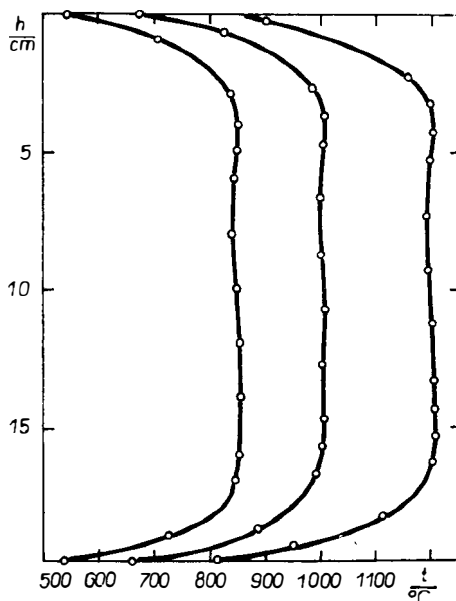
Konštrukcia stojana pece umožňuje vychýliť pec bez vypnutia z pracovnej polohy do polohy mimo sústavy kotúčov a vrátiť ju späť do naciachovanej polohy. Premiestnenie pece do pomocnej polohy sa používa pri ustaľovaní teploty v peci, alebo vtedy, keď treba zastaviť otáčanie kotúčov pri vyhriatej peci.

MERACIE POSTUPY

Stanovenie rýchlosti konverzie si vyžaduje meranie teploty, času a stupňa premeny.

Meranie teploty

Rozloženie teploty v peci, vysokej 198 mm, pri teplotách izotermického pásma 850 °C, 1 000 °C a 1 200 °C je znázornené na obr. 3. Zmeralo sa kalibrovaným termočlánkom PtRh 10 – Pt ($\varnothing = 0,3$ mm), zavedeným do pece pozorovacou trubicou puzdra vibračnej lyžičky. Súčasne sa týmto spôsobom naciachovali tri termočlánky PtRh 10 – Pt ($\varnothing = 0,2$ mm), umiestnené trvale v peci tak, že ich zvary sa nachádzajú na úrovniach stredu a obidvoch koncov izotermického pásma.



Obr. 3. Rozloženie teploty v peci s prevládajúcou izotermickou zónou, vysokej 19,8 cm pri teplotách izotermického pásma 850, 1 000 a 1 200 °C.

To umožňuje trvalú kontrolu a reguláciu teploty v uvedených troch bodoch izotermického pásma počas merania.

Neizotermické časti teplotného poľa sa musia zohľadniť pri matematickom vyhodnocovaní experimentálnych dát.

Meranie doby záhrevu

Doba záhrevu častíc vzorky odpovedá času, potrebnému k prepadnutiu častíc cez použitú pec. U izometrických častíc veľkosti 0,04–0,4 mm o hustote 2,5 až 3 g . cm⁻³, pri teplotách 850–1 200 °C, na vzduchu, sú doby záhrevu v peci vysokej 198 mm asi 0,2–2 s.

Na začiatku každej otáčky zariadenia na meranie doby záhrevu sa do hornej časti pece vnesie pomocou vibračnej lyžičky v priebehu asi $2 \cdot 10^{-2}$ s optimálne množstvo vzorky, t. j. 2 až 25 častíc podľa ich veľkosti. Po prepadnutí výhrevnou trubicou sa časť vzorky zachytí v kyvetách zachytávacieho kotúča v závislosti od doby prepadnutia pecou. Každéj z kyviet prislúcha, podľa vzájomného na-

stavenia kotúčov (14) a (18) (obr. 1) uhol φ , odpovedajúci dobe pádu t_e zachytených častíc

$$t_e = \frac{\varphi}{360^\circ} \cdot \frac{1}{\nu}, \quad (1)$$

kde ν je stredná frekvencia otáčania časomerných kotúčov počas merania. Hodnota ν sa určuje pri každom meraní, na základe stanovenia celkového počtu otáčok časomerných kotúčov a doby otáčania.

Vzhľadom na dobu nasypávania vibračnou lyžičkou a na vnútorný priemer zachytávacích kyviet, odpovedajúci uhlu $\varphi_k \approx 6^\circ$, je relatívna chyba určenia doby záhrevu v závislosti od veľkosti častíc 6–10 %.

Stanovenie stupňa premeny

Stupeň premeny sledovaného procesu u vzoriek, zachytených v jednotlivých kyvetách časomerného zariadenia sa stanovuje vhodne zvolenou metódou (chemická analýza, fázová analýza atď.).

VÝPOČET KINETICKÝCH PARAMETROV ŠTUDOVANÝCH PROCESOV

Kvantitatívne vyhodnotenie nameraných výsledkov, t. j. hodnôt doby záhrevu t_e a konečného stupňa premeny α_e vybraného druhu častíc pri zvolených podmienkach (rozloženie teploty a zloženie atmosféry v peci) vychádza z dvoch základných vzťahov:

a) z kinetickej rovnice

$$\frac{d\alpha}{dt} = \varphi(k_1, k_2, \dots, k_n, t), \quad (2)$$

kde k_i je rýchlostná konštanta i -tého čiastkového procesu,

b) z rovnice opisujúcej pád častice v peci, ktorej všeobecný tvar je

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{k_I}{m} \eta r v - \frac{k_{II}}{m} r^2 v^2 \rho, \quad (3)$$

kde v je okamžitá rýchlosť padajúcej častice, m je jej okamžitá hmotnosť, r je jej okamžitý efektívny polomer, η je viskozita plynného prostredia v peci, ρ je jeho hustota, k_I odpovedá tvarovému faktoru 6π v Stokesovej rovnici, konštanta k_{II} je tiež závislá od tvaru častíc, g je gravitačné zrýchlenie.

Druhý, resp. tretí člen prvej strany rovnice (3) odpovedá „Stokesovej“ resp. „Newtonovej“ zložke odporu pecnej atmosféry proti pádu častice kondenzovanej fázy. Pri malých hodnotách Reynoldsovho čísla možno tretí člen zanedbať.

Parametre k oboch rovníc sa vyčísľujú iteračnými numerickými postupmi. Príklad riešenia sa uvedie v pripravovanej publikácii.

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОХОДА ТВЕРДОЙ ЧАСТИЦЫ ЧЕРЕЗ СТАЦИОНАРНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ

Иван Нерад, Иво Прокс, Игор Златовски

*Институт неорганической химии, Центр химического исследования САН,
842 36 Братислава*

Описываемая установка предназначена для исследования временных зависимостей степени превращения небольших частиц конденсированных фаз при непродолжительном

нагреве в температурном интервале (800 °C, 1 400 °C). Время нагрева (0,2—2 с) реагирующих частиц ($\varphi = 0,04—0,4$ мм) измеряют с относительной погрешностью 6—10 %.

Несколько частиц пробы (2—25) помещают на время приблизительно 2 · 10⁻² с с помощью вибрационной ложки (7) (см. рис. 1) с регулируемой частотностью, амплитудой, скважностью и временем колебания в верхнюю часть вертикальной нагревательной трубки (5) печи с преобладающей изотермической зоной. Под печью вращается с постоянной скоростью захватный диск (14) с кюветами (16). Время прохода частиц через нагревательную трубку t_e (время нагрева частиц) отвечает углу φ , на который поворачивается диск, задерживающий частицы, с момента их подачи в нагревательную трубку до момента их задержания после прохода через печь. Подачу новой пробы в печь повторяют в каждом повороте диска с кюветами по сигналу, выведенному из фотоэлектрического датчика. Измеряемое время нагрева частиц зависит от высоты применяемой заменяемой печи, от размера, формы и плотности частиц, от качества их поверхности, от температуры и среды печи; их величина определяется отношением

$$t_e = \frac{\varphi}{360^\circ} \cdot \frac{1}{\bar{\nu}}, \quad (1)$$

где $\bar{\nu}$ — средняя частота вращения диска измеряемого время в течение измерения.

Степень превращения α_e исследуемого процесса устанавливают с помощью пригодно метода химического или фазового анализа задержанных проб.

Качественная оценка экспериментальных результатов основывается на двух основных отношениях:

из кинетического уравнения

$$\frac{d\alpha}{dt} = \varphi(\kappa_1, \kappa_2, \dots, \kappa_n, t), \quad (2)$$

где κ_n — константа скорости n -ого частичного процесса и из уравнения, описывающего падение частицы в печи, в общем виде

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{\kappa_I}{m} \eta r v - \frac{\kappa_{II}}{m} r^2 v^2 \rho, \quad (3)$$

где v — мгновенная скорость падающей частицы, m — ее мгновенная масса, r — ее мгновенный эффективный радиус, η — вязкость газовой среды в печи, ρ — ее плотность, κ_I отвечает формовому фактору 6π в уравнении Стокса, константа κ_{II} также зависит от формы частиц, g — ускорение свободного падения.

Параметры κ обоих уравнений вычисляют численными методами взаимодействия.

Рис. 1. Установка для измерения времени нагрева и печь с удлиненной изотермической зоной; 1, 2, 3 — нагревательная обмотка PtRh 10, 4 — керамическая трубка, 5 — печная трубка из Pt, 6 — рубашка печи, 7 — вибрационная ложка, 8 — переборка вибрационной ложки, 9 — репродуктор Tesla ARZ 087, 10 — футляр из SiO₂- стекла, 11 — металлический фланец для зажима репродуктора, 12 — смотровое окно трубки, 13 — затвор запломбированной трубки, 14 — задерживающий диск, 15 — держатели задерживающих кювет, 16 — задерживающие кюветы, 17 — вал дисков, 18 — синхронизирующий диск, 19 — щель, 20 — фотоэлектрический пускатель, 21 — нониус, 22 — шариковые подшипники, 23 — арретир, 24 — синхронный двигатель, 25 — коробка передач, 26 — защитные асбестовые диски.

Рис. 2. Блок-схема подающей части установки для измерения времени нагрева; 1 — фотоэлектрический датчик, 2 — релаксационная схема Шмитта, 3 — дифференцирующая цепь, 4 — вентиль входа, 5 — моностабильная релаксационная схема, 6 — астабильная релаксационная схема, 7 — усилитель мощности, 8 — электромеханический член, 9 — вибрационная ложка, S — коммутатор.

Рис. 3. Распределение температуры в печи с преобладающей изотермической зоной высотой в 19,8 см при температурах изотермической зоны 850 °C, 1 000 °C и 1 200 °C.

APPARATUS FOR DETERMINING THE TIME OF PASSAGE OF A SOLID PARTICLE THROUGH A STEADY-STATE TEMPERATURE FIELD

Ivan Nerád, Ivo Proks, Igor Zlatovský

*Institute of Inorganic Chemistry, Centre of Chemical Research
of the Slovak Academy of Sciences, 842 36 Bratislava*

The apparatus described is intended for the study of the time dependences involved in the transformation of small particles of condensed phases during short-term heating within the temperature interval (800, 1 400 °C). The times of heating (0.2—2 s) of the reacting particles (0.04—0.4 mm in diameter) are measured with a relative error of 6 to 10 %.

Several particles of the sample (2—25) are introduced within about 2×10^{-2} s by means of a vibration spoon (7) (Fig. 1) with controlled frequency, amplitude and time of vibration, into the bottom part of a vertical heating tube (5) in a furnace with a prevailing isothermic zone. A retaining disk (14) with cells (16) revolves at a constant speed below the furnace. The time of passage of the particles through the heating tube t_e (the time of their heating) corresponds to angle φ , through which the retaining disk revolves from the moment of their introduction into the heating tube to the moment of their retention. The introduction of a new sample into the furnace is repeated during each disk revolution, triggered by an impulse derived from a photoelectric sensor. The time of heating of the particles being measured depends on the height of the replaceable furnace, on the size, shape and density of the particles, the quality of their surface, on temperature and on the furnace atmosphere; its value is given by the equation

$$t_e = \frac{\varphi}{360^\circ} \frac{1}{\bar{v}}, \quad (1)$$

where \bar{v} is the mean speed of the chromometric disk rotation during the measurement.

The transformation degree α_e of the process being studied is determined by a suitable method of chemical or phase analysis of the particles retained.

The quantitative evaluation of the experimental results is based on the following two main equations:

There is the kinetic equation

$$\frac{d\alpha}{dt} = \varphi(k_1, k_2, \dots, k_n, t), \quad (2)$$

where k_i is the rate constant of i -th partial process, and the equation describing the fall of the particles through the furnace, which has the general form

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{k_I}{m} \eta r v - \frac{k_{II}}{m} r^2 v^2 \rho, \quad (3)$$

where v is the instantaneous speed of the falling particle, m is its instantaneous weight, r is its instantaneous effective radius, η is the viscosity of the gaseous medium in the furnace, ρ is its density, k_I corresponds to the shape factor 6π in Stokes's equation, constant k_{II} also depends on the particle shape and g is the gravity acceleration.

The parameters k of both equations are calculated by numerical iteration methods.

Fig. 1. Equipment for measuring the time of heating and the furnace with an elongated isothermic zone; 1, 2, 3 — heating winding of PtRh 10, 4 — ceramic tube, 5 — furnace tube of Pt, 6 — furnace jacket, 7 — vibration spoon, 8 — partition of vibration spoon, 9 — Tesla ARZ 087 loudspeaker, 10 — silica glass casing, 11 — metal flange for loudspeaker fixing, 12 — observing tube window, 13 — charging tube closure, 14 — retaining disk, 15 — retaining cell holders, 16 — retaining cells, 17 — disk shaft, 18 — synchronizing disk, 19 — slot, 20 — photoelectric trigger, 21 — nonius, 22 — ball bearings, 23 — blocking device, 24 — synchronous motor, 25 — gear box, 26 — protective asbestos disks.

Fig. 2. Block diagram of the charging part of the apparatus for measuring the time of heating; 1 — photoelectric sensor, 2 — Schmitt's slip-flop circuit, 3 — differentiating circuit, 4 — input gate, 5 — monostable slip-flop circuit, 6 — astable slip-flop circuit, 7 — power amplifier, 8 — electromechanical element, 9 — vibration spoon, S — switch.

Fig. 3. Temperature distribution in the furnace with the prevailing isothermic zone 19.8 cm in height, at isothermic zone temperatures of 850 °C, 1 000 °C and 1 200 °C.