

С.Г. Орловська

Вплив електричного поля на характеристики плавлення та горіння парафіну

Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова,
Одеса, Україна, вул. Дворянська, 2, 65082, (048) 723-62-27, svetor@rambler.ru

Проведено дослідження впливу однорідного електричного поля на процеси плавлення та горіння частинок октадекану в повітрі. Показано, що в електричному полі на початковому етапі зменшується швидкість плавлення, що призводить до збільшення часу плавлення. Встановлено, що під впливом електричного поля відбувається зростання швидкості горіння крапель октадекану та зміщення полум'я в напрямі електричного поля.

Ключові слова: тепломасообмін, кінетика фазових перетворень, плавлення, горіння, парафін, октадекан, швидкість горіння, електричне поле.

Стаття постуила до редакції 25.07.2015; прийнята до друку 15.09.2015.

Вступ

Процеси випаровування і горіння крапель рідкого палива є предметом широких експериментальних і теоретичних досліджень. Отримано експериментальні дані відносно механізмів випаровування і горіння вуглеводневих палив, розроблені детальні фізико-математичні моделі високотемпературного тепломасообміну, які дають можливість розрахувати температуру займання і горіння краплі, період індукції, час горіння. [1-4]. Парафін є легкоплавким матеріалом, який може використовуватись в якості екологічно чистого і високоенергетичного палива [5]. Встановлено, що період індукції спалахування крапель парафіну складається із послідовних стадій, основними фізичними механізмами яких є плавлення та випаровування [6].

Важливим завданням є інтенсифікація процесів горіння палива в реакційному об'ємі. Чинниками, що впливають на процес горіння, можуть бути зовнішні поля, наприклад, електричне поле. У роботах [7, 8] показано, що електричне поле призводить до збільшення швидкості горіння вуглеводневих палив. Проте вплив електричного поля на кінетику фазових переходів та горіння парафінів в літературі не вивчався. Тому метою даної роботи є дослідження закономірностей впливу електричного поля на процеси високотемпературного тепломасообміну, плавлення і горіння крапель парафінового палива в повітрі.

I. Експериментальні дослідження

Для експериментальних досліджень використовувався октадекан ($C_{18}H_{38}$) чистотою 99 %, температури плавлення і кипіння якого дорівнюють, відповідно, 28,2°C і 317,4°C. Дослідження кінетики плавлення і горіння проводились на спеціально розробленому експериментальному стенді [6], де за допомогою двох Web – камер в режимі реального часу фіксувалася крапля парафіну і її полум'я. Частинка парафіну розміщувалася між пластинами плоского конденсатора, напруга між якими становила $U = 5$ кВ. Таким чином, спалахування і горіння октадекану відбувалося в однорідному стаціонарному електричному полі з напруженістю $E = 82$ кВ/м. Температура повітря поблизу краплі становила 450 °С.

Розглянемо особливості високотемпературного тепломасообміну частинок октадекану з початковим діаметром $d_b = 1,96$ мм в електричному полі (рис.1).

Із рис. 1а видно, що в електричному полі спостерігається вже зазначена в [6] стадійність процесів тепломасообміну: прогрівання твердої фази (стадія 1), її плавлення (стадія 2), прогрівання рідкої фази (стадія 3), горіння краплі парафіну (стадія 4).

Аналіз цифрових зображень частинок октадекану в процесі плавлення дав змогу зробити наступні висновки. У випадку відсутності електричного поля тверда фаза практично вертикально осідає в розплав на дно краплі, поступово переходячи в рідкий стан. При плавленні в електричному полі рідка фаза

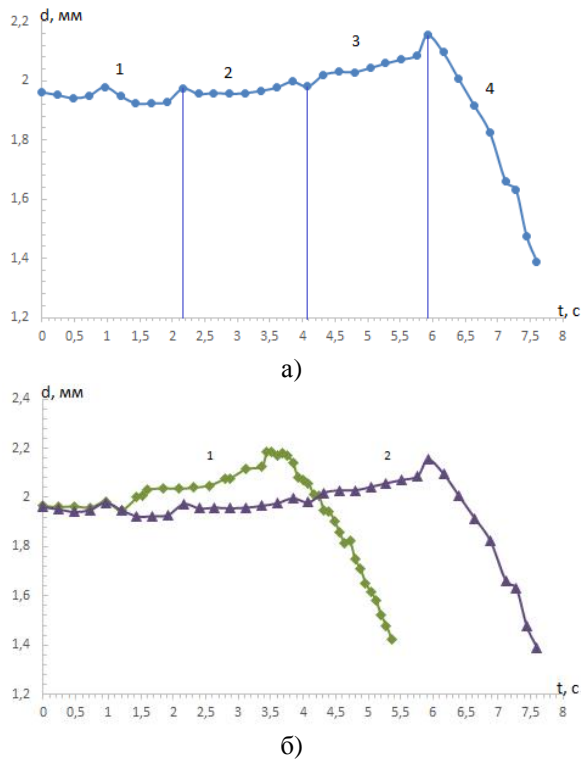


Рис. 1. Залежність плинучого діаметра краплі октадекана ($d_b = 1,96$ мм) від часу; а) в електричному полі, $E = 82$ кВ/м; б): 1 - у відсутності поля, $E = 0$, 2- в полі, $E = 82$ кВ/м.

виникає повільніше, а залишкова тверда фаза навіть обертається в розплаві при осіданні на дно краплі.

Комп'ютерна обробка цифрових зображень дала змогу визначити об'єм рідкої фази в процесі плавлення і знайти швидкість плавлення. На рис. 2 представлені залежності об'єму розплаву від часу при плавленні частинки октадекану без електричного

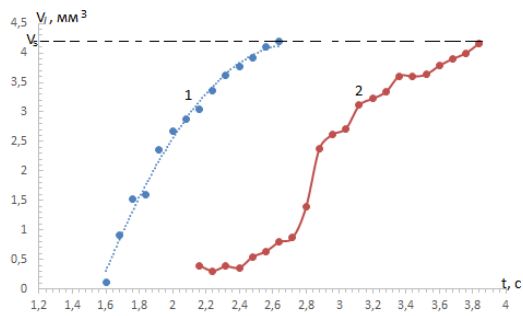


Рис. 2. Залежності об'єму розплаву від часу плавлення частинки октадекану у відсутності електричного поля (1) і в електричному полі(2); $d_b=1.96$ мм., $T_g = 450$ °С

Таблиця

Вплив електричного поля на характеристики плавлення частинки октадекана

$d, \text{ мм}$	$E=0$		$E=82 \text{ кВ/м}$		
	$\tau_f, \text{ с}$	$V_f, \text{ мм}^3/\text{с}$	$\tau_f, \text{ с}$	$V_{f1}, \text{ мм}^3/\text{с}$	$V_{f2}, \text{ мм}^3/\text{с}$
1,96	1,2	2,59	1,68	1,24	1,65

поля і в електричному полі. Видно, що електричне

поле призводить до зміни якості залежності $V_f(t)$. Без електричного поля залежність $V_f(t)$ це монотонно зростаюча функція, яка дає змогу визначити середню швидкість плавлення частинки. В електричному полі плавлення можна розбити на дві стадії з різними швидкостями появи розплаву. На початковому етапі частинка плавиться повільно, потім, при появі певної кількості розплаву, швидкість плавлення швидко зростає. Саме на другому етапі спостерігається турбулізація і обертання твердого залишку в розплаві. Знайдені нами швидкості плавлення частинок однакових початкових діаметрів представлені в таблиці 1.

З таблиці випливає, що час плавлення (τ_f) частинки парафіну в електричному полі приблизно в півтора рази більший, ніж у відсутності поля. Це є результатом того, що швидкість плавлення в електричному полі на початковому етапі приблизно в 2 рази нижча, ніж у відсутності електричного поля.

Збільшення часу плавлення рідкої фази в електричному полі можна пояснити деформацією сферично несиметричних молекул октадекану під дією поля. Для цього процесу необхідні витрати

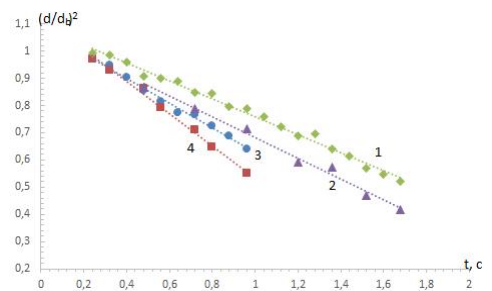


Рис. 3. Вплив електричного поля на кінетику горіння крапель октадекану 1 - $E = 0$, $d_b = 1,96$ мм, 2 - $E = 82$ кВ/м, $d_b = 1,96$ мм, 3 - $E = 0$, $d_b = 1,64$ мм, 4 - $E = 82$ кВ/м, $d_b = 1,64$ мм.

енергії. Отже, зменшується кількість теплоти, необхідної для протікання процесу плавлення.

Проаналізуємо вплив електричного поля на швидкість і час горіння крапель октадекану.

Обробка відеозображень в різні моменти часу дозволила знайти часову залежність діаметра краплі в процесі горіння, а потім побудувати залежність квадрата діаметра краплі віднесеного до квадрату початкового діаметру від часу (рис. 3).

Видно, що в електричному полі збільшується швидкість горіння. Причому для дрібних крапель вплив електричного поля більше (лінії 3 і 4). Збільшення швидкості горіння в електричному полі пов'язане з наближенням фронту горіння до поверхні краплі, зростанням теплового потоку на краплю і, як наслідок, збільшенням швидкості її випаровування.

Вивчимо вплив електричного поля на форму і геометричні розміри полум'я. На рис. 4 представлені часові залежності максимальної висоти полум'я палаючих крапель октадекану в електричному полі і у відсутності електричного поля.

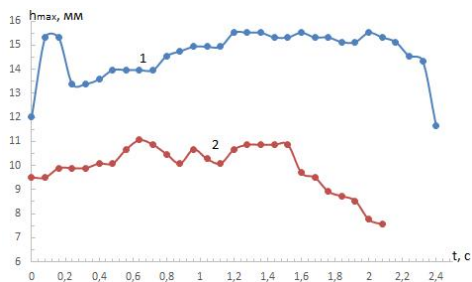


Рис.4. Залежність максимальної висоти полум'я від часу горіння: 1 – у відсутності електричного поля, 2 – в електричному полі $E = 82 \text{ кВ/м}$; $d_{\text{к}} = 1,96 \text{ мм}$.

В електричному полі ми спостерігаємо зменшення максимальної висоти полум'я приблизно в півтора рази.

На рис. 5 представлена в порівнянні еволюція форми і геометричних розмірів полум'я крапель октадекану однакових початкових діаметрів в електричному полі і без поля в одні й ті самі моменти часу. Бачимо, що в електричному полі відбувається деформація полум'я: віхилення в напрямі ліній напруженності електричного поля, зменшення його висоти і збільшення поперечних розмірів.

При згорянні вуглеводневих палив значний вплив на іонізацію полум'я надає термоелектронна емісія. Це явище виникає при високих температурах, коли енергія електронів стає достатньою для того, щоб вони могли покинути поверхню твердих частинок. У результаті термоелектронної емісії частинки набувають позитивного заряду. У вуглеводневих полум'ях до таких частинок слід віднести, насамперед, частинки вуглецю (сажі). Ці частинки спрямовуються до негативного електроду, захоплюючи при цьому за собою і нейтральні частинки. Це явище відоме під назвою «іонного вітру».

Збільшення швидкості горіння крапель октадекану в електричному полі можна пояснити впливом «іонного вітру» на полум'я, внаслідок чого, фронт горіння наближається до поверхні краплі і інтенсифікує тепловий потік в рідину. У результаті відбувається збільшення швидкості випаровування палаючої краплі. Фактори, які додатково збільшують температуру полум'я є: перетворення енергії електричного поля в теплову і посилення поляризації реагуючих частинок в електричному полі.

Висновки

Таким чином отримано, що в однорідному стаціонарному електричному полі зменшується швидкість плавлення частинки октадекану і, як

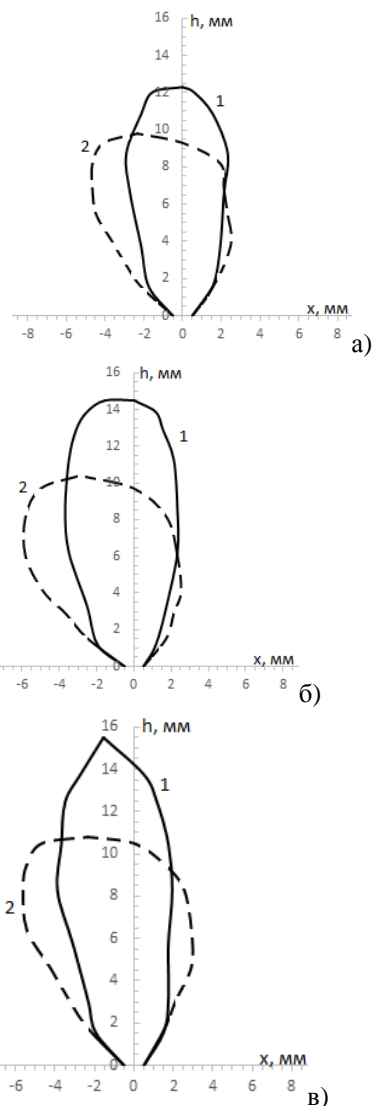


Рис. 5. Вплив електричного поля на геометричні розміри полум'я в процесі горіння крапель октадекану, $d_{\text{к}} = 1,96 \text{ мм}$, 1 – у відсутності електричного поля, 2 – в електричному полі, $E = 82 \text{ кВ/м}$; а) $t = 0 \text{ с}$, б) $t = 0,64 \text{ с}$, в) $t = 1,2 \text{ с}$.

наслідок, збільшується час плавлення.

Доведено, що електричне поле приводить до збільшення швидкості горіння крапель октадекану і зміщення полум'я у напрямі поля. При цьому полум'я стає асиметричним, значно змінюються його геометричні розміри: зменшується висота і збільшується ширина. Ці явища пов'язані з дією "іонного вітру" в полум'ї і перетворенням енергії електричного поля в теплову, внаслідок чого фронт горіння наближається до поверхні краплі, збільшуючи швидкість її випару.

[1] S. Kumagai, Gorenje: Per. s yaponskogo (Himiya, M., 1980).

[2] L.N. Hitrin, Fizika gorennya i vzryva (Izd. Moskovskogo universiteta, M. 1967).

- [3] Ya.B. Zeldovich, G.I. Barenblatt, V.B. Librovich, G.M. Mahviladze, *Matematicheskaya teoriya goreniya i vzryiva* (Nauka, M., 1980).
- [4] D.A. Frank – Kamenetskiy, *Diffuziya i teploperedacha v himicheskoy kinetike* (Nauka, M., 1987).
- [5] T. Katsumi, H. Kodama, T. Matsuo, H. Ogawa, N. Tsuboi, K. Hori, *Fizika goreniya i vzryiva*, 45 (4) 109 (2009).
- [6] S.G. Orlovska, M.S. Shkoropado, F.F. Karimova, A.O. Odnostalko, *Fizika I hImIya tverdogo tlla*, 16(2), 347 (2015).
- [7] P.K. Tretyakov, A.V. Tupikin, N.V. Denisova, O.V. Ganeev, V.V. Zamaschikov, Yu.S. Kozorezov, *Fizika goreniya i vzryiva*, (2), 9 (2012).
- [8] E.P. Ilchenko, V.G. Shevchuk, *Ukr. J. Phys*, 50(2), 144 (2005).

S.G. Orlovska

Influence of Electric Field on the Melting Characteristics Burning Wax

Odessa I.I. Mechnikov National University

Odessa, Ukraine, Dvoryanskya str. 2, 65082, (048) 723-62-27, svetor@rambler.ru

A study of influence of homogeneous electric-field is undertaken on the processes of melting and burning of particles to the octadecane in mid air. It is shown that in the electric field on the initial stage diminishes speed of melting that results in the increase of time of melting. It is set that under act of electric-field there is an increase of speed of burning of drops to the octadecane and displacement of flame in direction of electric-field.

Keywords: heat and mass transfer, kinetics of phase transitions, melting, paraffin, Octadecane, burning rate, electric field.