

Ryszard WILK

Instytut Techniki Ciepłej

BADANIA SPALANIA KROPLI ODPADOWEGO PALIWA CIEKŁEGO

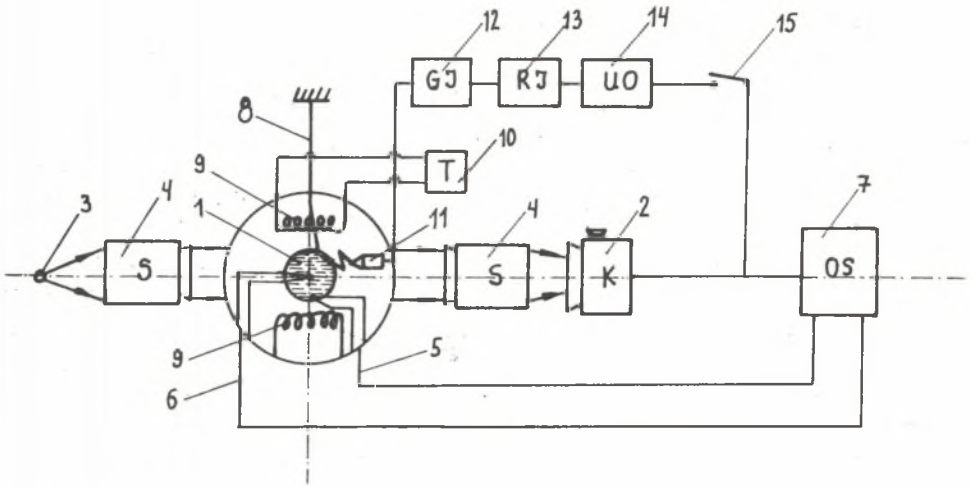
Streszczenie. Przeprowadzono badania spalania kropli odpadowego paliwa ciekłego. Zaobserwowano występowanie zjawiska eksplozji w kropli. Przedstawiono próbę wyjaśnienia tego zjawiska w oparciu o reakcję pirolizy zachodzącej wewnątrz kropli.

Odpadowe ciekłe węglowodory będące pozostałością po destylacji atmosferycznej ropy naftowej (mazut) lub próżniowej (gudron) są powszechnie użytkowane m.in. jako paliwo w piecach przemysłowych. Substancje te, jako mieszanina wielu złożonych nasyconych i nienasyconych związków węglowodorowych, spalają się w sposób zasadniczo różny od spalania lekkiego paliwa, np. etyliny. Zjawiska towarzyszące temu procesowi są jeszcze mało zbadane i dlatego brakuje w literaturze światowej dostatecznych informacji, poza nielicznymi wyjątkami, o wynikach badań podstawowych nad spalaniem kropli mazutu lub gudronu [2], [5], [6].

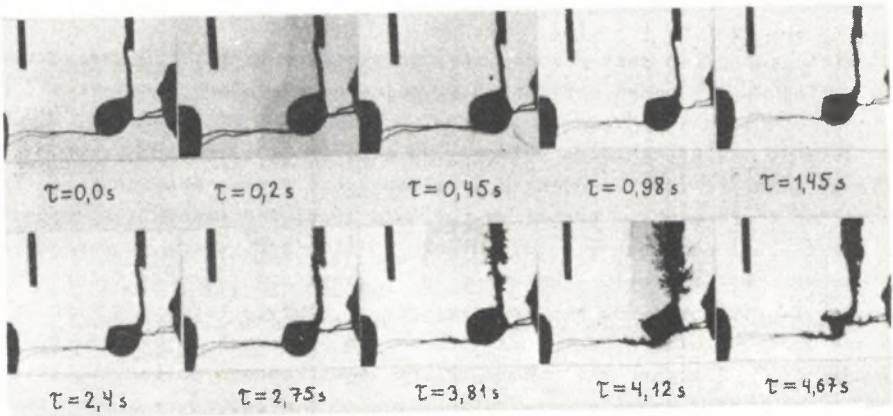
Niniejsza praca jest przyczynkiem do wypełnienia tej luki. Przedstawiono w niej wyniki badań nad spalaniem pojedynczej, nieruchomej kropli ciężkiego, ciekłego węglowodoru.

Badania eksperymentalne polegały na obserwacji płonącej kropli, oświetlonej światłem schlierenowskim umożliwiającym pomiar średnicy, a także mierzono temperaturę w kropli. W tym celu zbudowano stanowisko pomiarowe przedstawione na rysunku 1 [2]. Kroplę 1 filmowano kamerą 2 z prędkością 500 klatek/sek oświetloną światłem wytwarzanym przez źródło światła 3 oraz aparat schlierena 4. Do pomiaru temperatury służyły termopary PtRh-Pt 5 i 6 o średnicy drutów 0.08 mm umieszczone pod powierzchnią kropli (t_1) i w środku (t_2). Przebieg zmian temperatury rejestrowano na oscylografie 7. Kropla była zawieszona na nici platynowej 8, a w celu ułatwienia zapłonu podgrzewano ją grzałkami elektrycznymi 9 zasilonymi z transformatora 10. Zapłon realizowano iskrą elektryczną z elektrody 11, generatora iskry 12 oraz regulatora długości czasu trwania iskry 13. Układ opóźniający 14 uruchamiał zapłon z odpowiednią zwłoką, niezbędną dla uzyskania odpowiednich obrotów przez kamerę i oscylograf. Stanowisko uruchamiano wyłącznikiem 15.

Z obserwacji płonącej kropli oraz pomiarów jej średnicy wynika, że w trakcie procesu kropla pulsująco zwiększa swoją objętość. Niekiedy przy końcu procesu wzrost ten jest tak szybki, że występuje zjawisko eksplozji kropli. Na rysunku 2 przedstawiono zdjęcia kropli mazut M 100 o ekwi-



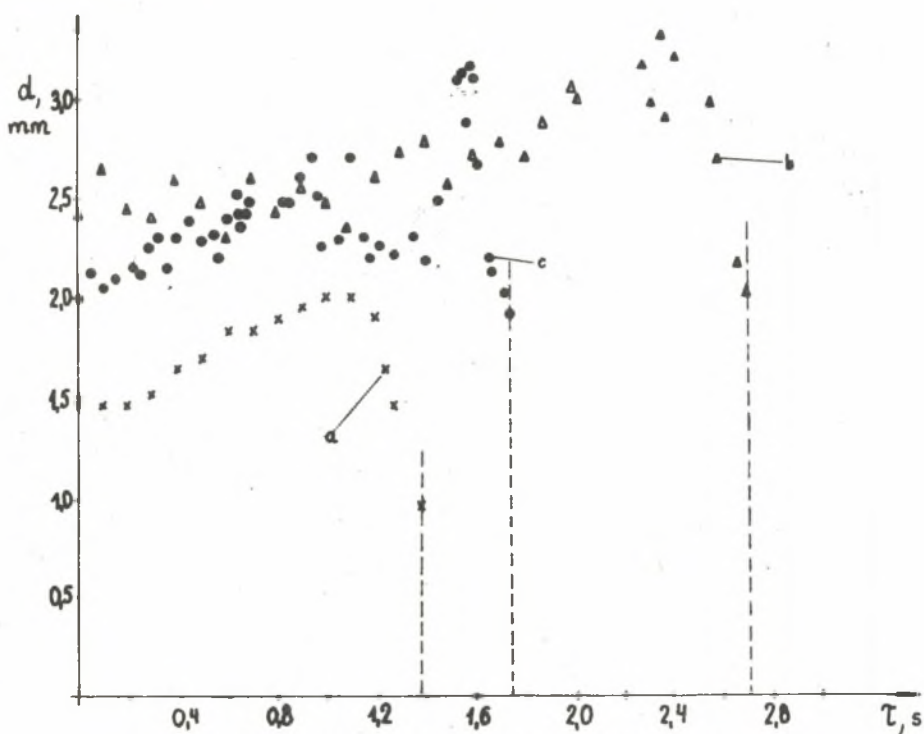
Rys. 1. Stanowisko pomiarowe



Rys. 2. Kolejne etapy palącej kropli mazutu M 100

lentnej średnicy początkowej $d_0 = 1,65$ mm w kolejnych stadiach procesu spalania.

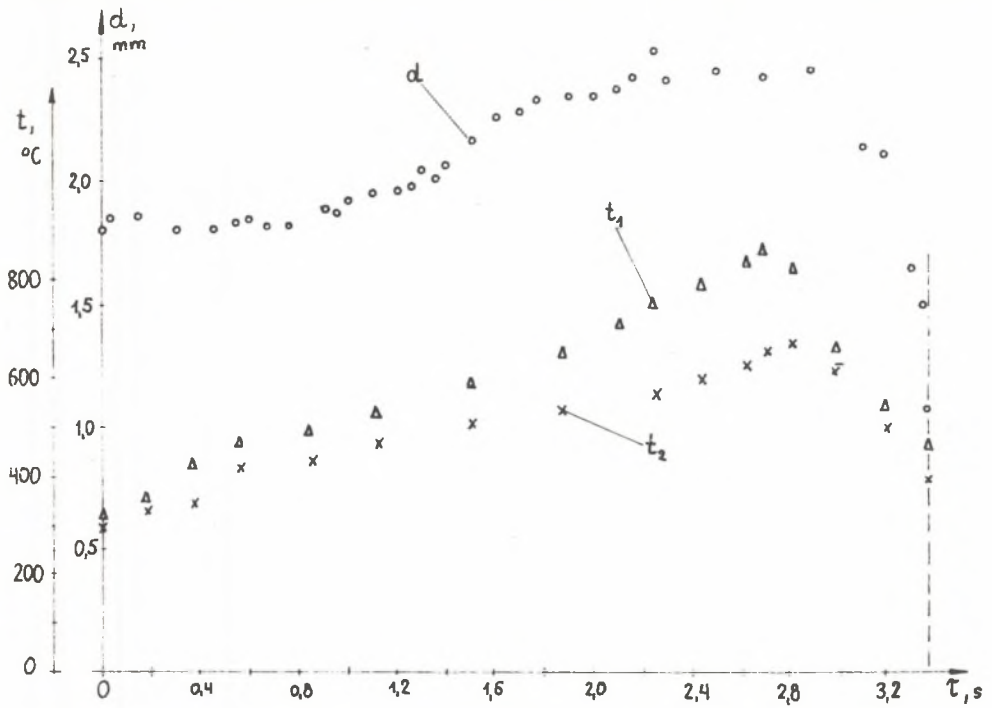
Przebieg zmian średnicy kropli w czasie dla różnych odpadowych paliw przedstawiono na rysunku 3. Występuje zjawisko eksplozji (rys. 3, gudron 33%), które jest charakterystyczne dla spalania kropli emulsji wodno-olejowej. Jest to pożądane, gdyż polepsza rozpylenie cieczy oraz mieszanie się jej z utleniaczem.



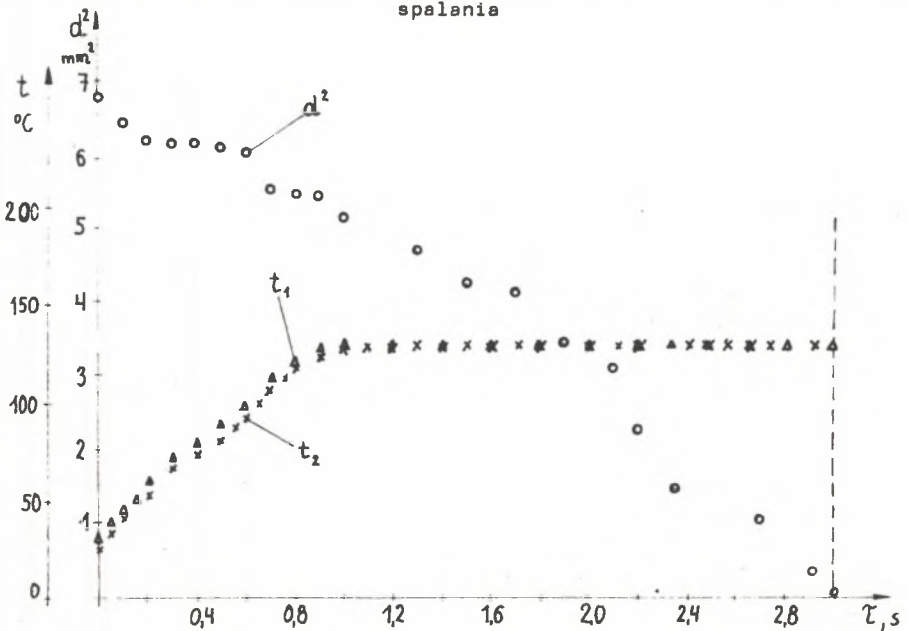
Rys. 3. Zależność średnicy kropli od czasu spalania

a - mazut M. 100, b - gudron o poz. prózn. 26%, c - gudron o poz. prózn. 33%

Pomiary temperatur w kropli na tle zmian jej średnicy przedstawiono na rysunku 4. Temperatura całej cząstki rośnie, a także występuje rozkład temperatur w objętości kropli w przeciwieństwie do spalania lekkiego paliwa, np. etyliny 78 (rysunek 5). Wynika, że w tym przypadku temperatura poza początkowym odcinkiem podgrzewania jest stała i równa temperaturze wrzenia przy ciśnieniu atmosferycznym ($\sim 130^{\circ}\text{C}$) oraz, co ma bezpośredni z tym związek, zachowane jest prawo liniowej zależności kwadratu średnicy kropli od czasu spalania [6].

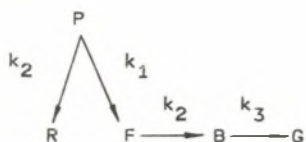


Rys. 4. Zależność średnicy i temperatury w kropli mazutu M 100 od czasu spalania



Rys. 5. Zależność średnicy i temperatury w kropli etyliny 78 od czasu spalania

Zaobserwowane prawidłowości wskazują na możliwość wystąpienia w płonącej kropli odpadowego paliwa reakcji termicznego rozkładu [3]. Jest to reakcja pirolizy przebiegająca wg schematu:



gdzie:

P, F, B, G i R - to odpowiednio: surowiec, flegma, benzyna, gazy i pozostałość koksowa,

k_1, k_2, k_3 i k_4 - stałe szybkości rozkładu kolejnych reakcji.

Dla stałej temperatury można uzyskać następujące równania kinetyczne

$$y = e^{-k_5 \tau}$$

$$z = \frac{k_1}{k_2 - k_5} (e^{-k_5 \tau} - e^{-k_2 \tau}),$$

$$u = k_1 k_2 \left[\frac{e^{-k_5 \tau}}{(k_2 - k_5)(k_3 - k_5)} + \frac{e^{-k_2 \tau}}{(k_5 - k_2)(k_3 - k_2)} + \frac{e^{-k_3 \tau}}{(k_5 - k_3)(k_2 - k_3)} \right]$$

$$v = \frac{k_1}{k_5} - \frac{k_1 k_2 k_3}{k_5 (k_3 - k_5)(k_2 - k_5)} e^{-k_5 \tau} - \frac{k_1 k_2}{(k_5 - k_2)(k_3 - k_2)} e^{-k_2 \tau} -$$

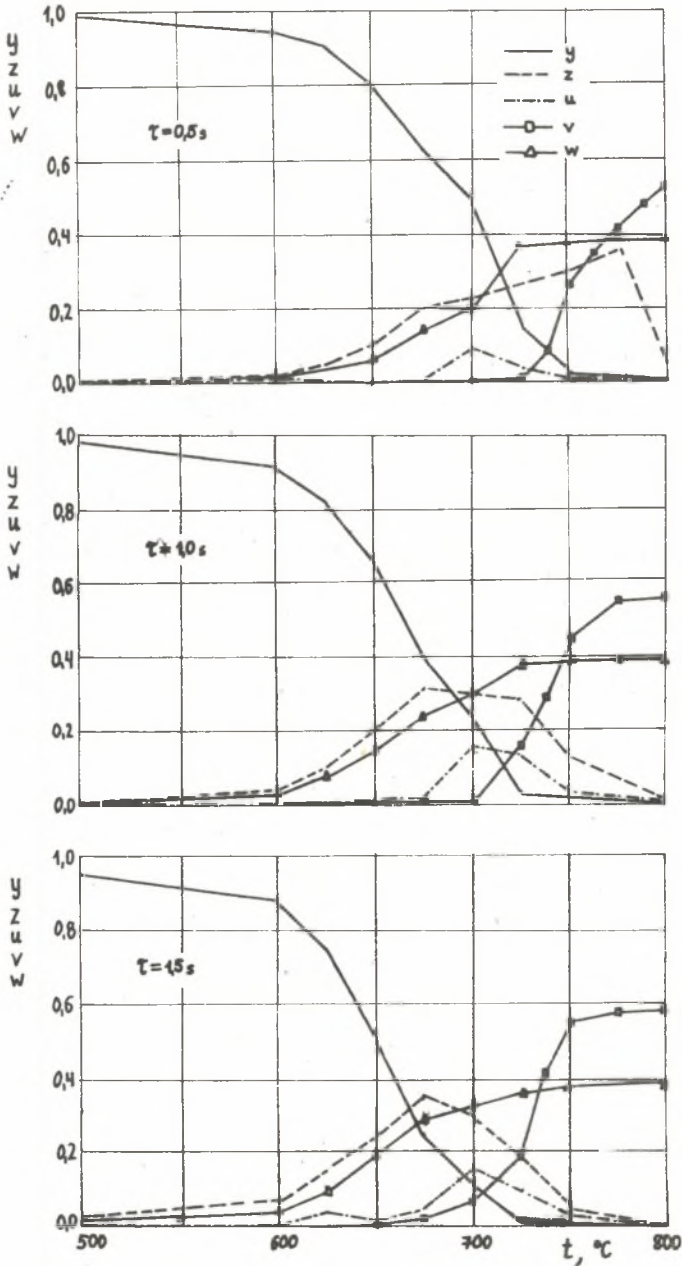
$$\frac{k_1 k_2}{(k_5 - k_3)(k_2 - k_3)} e^{-k_3 \tau}$$

$$w = \frac{k_4}{k_5} (1 - e^{-k_5 \tau}),$$

gdzie:

$$k_5 = k_1 + k_4,$$

y, z, u, v i w - udziały gramowe surowca oraz surowca przekształconego w flegmę, benzynę, gaz i pozostałość koksową.



Rys. 6. Przebieg zmian składników w kropli wskutek pirolizy dla trzech czasów działania

Przyjęto dla mazutu następująca zależność [4]:

$$k_1/k_2 = 2.35; \quad k_1/k_4 = 1.5$$

$$\lg k_1 = 11.822 - \frac{11453}{T}; \quad \lg k_3 = -14.585 + 0.01515 T$$

i na tej podstawie wykonano obliczenia oraz przedstawiono wykresy wielkości y , z , u , v i w w funkcji czasu [3]. W pracy niniejszej zaś te wyniki zinterpretowano pod kątem widzenia zależności y , z , u , v i w od temperatury dla trzech czasów trwania reakcji, przedstawiając je na rysunku 6.

Wynika, że ze wzrastającą temperaturą zmienia się skład reagującej substancji. Udział surowca dąży do 0; gazu do 0.6. Pozostałość koksowa stanowi dopełnienie do jedności. Flegma i benzyna jako produkty pośrednie przechodzą przez maksimum, a następnie udział ich maleje do zera. Im dłużej trwa proces, tym niższe temperatury są wymagane dla otrzymania tego samego składu.

Odnosząc rozważania nad kinetyką pirolizy do zjawisk zachodzących w płonącej kropce mazutu lub gudronu, można wnioskować, że w niej tworzą się pary benzyny i gazy zwiększające objętość kropli. Powstające na powierzchni kropli pozostałość koksowa utrudnia wydobywanie się ich z wnętrza. W odpowiednich warunkach szybkość produkcji par benzyny i gazów jest na tyle duża, że ta mieszanina ekspandując rozbija kropkę.

Przedstawione rozważania miały na celu opisanie zjawiska spalania kropli ciężkiego, ciekłego węglowodoru w oparciu o kinetykę reakcji pirolizy. Badania przyszłe prowadzić powinny do ilościowego ujęcia tych zjawisk.

Otrzymane wyniki można wykorzystać także i do innych celów. Np. dla aktualnego ostatnio problemu spalania koloidalnych mieszanek olejów z pyłem węglowym wynika, że cieczą towarzyszącą węglowi w koloidzie ma być ciężki węglowodór. Poziom temperatury w kropce jest wówczas wyższy, co ułatwia zapłon i spalanie cząstki węgla.

W świetle aktualnych problemów energetycznych na świecie czynione są poszukiwania za nowymi rodzajami paliw, w tym także za stosowaniem paliw odpadowych. Badania nad poznaniem mechanizmu spalania kropli odpadowego paliwa są więc uzasadnione.

LITERATURA

- [1] Chen C.S., El-Wakil M.M.: Experimental and theoretical studies of burning drops of hydrocarbon mixtures. Proc. Instn. Engrs 1969-7.
- [2] Kotowicz J.: Eksperymentalne badania zjawiska spalania pojedynczych kropli ciężkiego, ciekłego węglowodoru. Pr. dypl. mgr wykonana w ITC. 1977.

- [3] Petela R., Wilk R., Zieliński Z.: The investigation of a combustion of a heavy oil droplet with simultaneous cracking inside the oil. V-th International Symposium on Combustion Processes, Kraków 1977.
- [4] Raseev S.D.: Procesy rozkładowe w przeróbce ropy naftowej. WNT, Warszawa 1967.
- [5] Shyu R.R., Chen C.S., Goudie G.O. and El-Wakil M.M.: Multicomponent heavy fuel drop histories in a high-temperature flow field. Fuel, Vol 51 No 2 April 1972.
- [6] Williams A.: Combustion of Droplets of Liquid Fuels: A Review. Combustion and Flame 21, 1-31, 1973.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ КАПЛИ ТЯЖЕЛОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Резюме

Проведены исследования горения капли тяжелого жидкого топлива. Наблюдались явления взрыва в капле. Сделана также попытка объяснения этого явления на основании реакции пиролиза, течение которой происходит внутри капли.

COMBUSTION INVESTIGATION OF A RESIDUAL OIL DROPLET

Summary

Combustion investigations of a residual oil droplet were carried out and the phenomenon of explosion inside the droplet observed.

An attempt to explain the phenomenon on the basis of thermal cracking was presented.