ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: ENERGETYKA z. 107 Nr kol. 1041

Ryszard WILK

Instytut Techniki Cieplnej
Politechnika Śląska

OBLICZENIOWA MATODA WYZNACZANIA CAŁKOWITEJ STAŁEJ SPALANIA KROPLI PYŁOWO-OLEJOWEJ[x)]

Streszczenie. Opisano proces spalania kropli pyłowo-olejowej. Wyprowadzono wzory na całkowity czas spalania kropli pyłowo-olejowej z olejami lekkim i ciężkim. Wykonano obliczenia tego czasu badając wpływ zmiennych własności oleju i pyłu oraz obliczono całkowitą stałą spalania. Stwierdzono, że dodawanie pyłu w kropli pyłowo-olejowej z olejem lekkim zwiększa całkowitą stałą spalania. W przypadku kropli z olejem ciężkim całkowita stała spalania maleje.

1. WSTĘP

Mieszaniny pyłu węglowego z olejami (COM) są jednym z substytutów olejów opałowych i z tego powodu w ostatnim dziesięcioleciu są one obiektem ciągłego zainteresowania zarówno od strony technicznej, jak i naukowej. Jedną z podstawowych właściwości, której znajomość jest ważna dla utylizacji tych paliw, jest stała spalania kropli pyłowo-olejowej. Jest ona pośrednim wskaźnikiem prędkości spalania paliwa pyłowo-olejowego [1]. Badania procesu spalania kropli COM były prowadzone w ostatnich latach w różnych krajach [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Jednakże bibliografia na ten temat jest jeszcze dosyć skąpa.

W pracy niniejszej obliczany był czas spalania pojedynczej kropli pyłowo-olejowej oraz całkowita stała spalania kropli. Ponadto badano wpływ zmian niektórych właściwości oleju i pyłu węglowego na czas spalania i całkowitą stałą spalania kropli COM. Badania przeprowadzono w sposób teoretyczny, opisując zjawisko spalania na podstawie obserwacji płonącej kropli COM.

x) Praca wykonana w ramach CPBP nr 02.18, kierunek 2, zad. 2.1.3.7.

2. OPIS ZJAWISKA SPALANIA KROPLI COM

Tworzące się w czasie rozpylania krople COM, składające się z oleju i wielu ziaren pyłu spalają się w złożony sposób. Kropla ta o temperaturze początkowej t_1 wrzucona do utleniającego ośrodka o wysokiej temperaturze t_{ex} nagrzewa się do temperatury zapłonu t_z. Przebieg zmian temperatury w kropli po zapłonie jest zależny od rodzaju oleju. Przy olejach lekkich, łatwo parujących, temperatura w kropli rośnie na początku do wartości temperatury nasycenia t_n = 353-523 K w zależności od rodzaju oleju, a później pozostaje prawie stała i wyrównana w objętości kropli. W przypadku oleju ciężkiego, trudno parującego, temperatura w kropli COM cały czas rośnie podczas spalania, osiągając pod koniec wartość 900-1100 K. Występuje również rozkład temperatury w objętości kropli wyrażający się różnicą między środkiem a powierzchnią kropli rzędu 50-250 K [8]. Tak więc znajdujący się w kropli COM pył węglowy podgrzewa się w różnym stopniu w zależności od rodzaju oleju. W oleju ciężkim podgrzewanie pyłu jest na tyle intensywne, że w czasie spalania fazy ciekłej może zachodzić szybka piroliza węgla. Zjawisko to jest dodatkowo komplikowane przez pirolizę substancji olejowej, która ma miejsce w czasie spalania kropli ciężkiego oleju. Tworzą się wówczas frakcje lekkie (benzyna i gazy) oraz frakcja ciężka (koks olejowy) [8]. Koks ten zlepia cząstki pyłu węglowego (koksu węglowego) tworząc konglomerat składający się z odgazowanego pyłu węglowego (karbonizatu) oraz koksu olejowego. Obserwacja płonącej kropli wykazuje obecność ruchu wirowego substancji ciekłej na powierzchni kropli [8]. Spowodowany jest on nierównomiernym napięciem powierzchniowym, które z kolei wywołane jest nierównomiernym ogrzewaniem kropli. Skutkiem ruchu wirowego ziarna pyłu węglowego spychane są do wnętrza kropli, tworząc konglomerat karbonizatowo-koksowy w przypadku ciężkiego oleju lub pozostają jako pojedyncze ziarna spalające się niezależnie od siebie w przypadku lekkiego oleju.

Fizykalny model zjawiska spalania kropli COM zależy od rodzaju oleju. W kroplach z lekkim olejem występują kolejno następujące procesy:

a) podgrzewanie kropli do temperatury zapłonu par,
b) zapłon par oleju,
c) spalanie par,
d) podgrzewanie pojedynczych ziaren pyłu węglowego od temperatury nasycenia oleju do temperatury zapłonu części lotnych węgla,
e) spalanie części lotnych pyłu,
f) zapłon karbonizatu węglowego,
g) spalanie pojedynczych ziaren karbonizatu.

W kroplach COM z ciężkim olejem wyróżnia się następujące procesy:

a) podgrzewanie oleju do temperatury zapłonu par,
b) zapłon par,

c) spalanie mieszaniny par oleju, produktów pirolizy oleju oraz pyłu węglowego,
d) zapłon konglomeratu karbonizatowo-koksowego,
e) spalanie tego konglomeratu.

Pod koniec procesu spalania kropli COM z ciężkim olejem może wystąpić mikroeksplozja lub barbotaż powłoki konglomeratu przez gazy bez destrukcji konglomeratu. Z powodu pirolizy pyłu węglowego i oleju oraz znacznego wzrostu napięcia powierzchniowego konglomeratu prawdopodobieństwo mikroeksplozji jest małe.

Jak ogólnie wiadomo, kwadrat początkowej średnicy kropli oleju jest proporcjonalny do całkowitego czasu spalania, a stała spalania jest współczynnikiem proporcjonalności [9]:

$$d_1^2 = K\tau_0 \tag{1}$$

Niektórzy przyjmują powyższą zależność również dla spalania pyłu węglowego. Jednakże przyjęcie to jest prawdziwe, gdy spalanie węgla ma charakter dyfuzyjny [10]. Zgodnie z powyższymi przesłankami zależność (1) przyjęto jako słuszną również dla kropli COM. Tak więc znając początkową średnicę oraz całkowity czas spalania kropli COM, całkowita stała spalania kropli COM, tzn. uwzględniającą wszystkie składowe procesy, można wyznaczyć ze wzoru:

$$K_{0c} = \frac{d_{1c}^2}{\tau_{0c}} \tag{2}$$

Początkowa średnica kropli wynika z procesu rozpylania i może być określana na podstawie obliczeń lub pomiarów [11].

3. OKREŚLENIE CZASU SPALANIA

Przyjęto, że kropla i pył węglowy mają kształt kuli, olej i pył są jednorodnymi substancjami. Z opisu procesu spalania kropli COM wynika sekwencyjna kolejność przebiegu zjawisk w płonącej kropli COM.

Całkowity czas spalania kropli COM τ_{0c} składa się z czasu podgrzewania kropli τ_1 od temperatury początkowej t_1 do temperatury zapłonu par oleju t_{z1}, czasu zwłoki chemicznej zapłonu par oleju τ_2, czasu spalania oleju τ_3, czasu podgrzewania pyłu węglowego τ_4 do temperatury zapłonu pyłu t_{zs}, czasu odgazowania pyłu τ_5, czasu zwłoki chemicznej zapłonu pyłu τ_6 oraz czasu spalania pyłu τ_7:

$$\tau_{0c} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7 \tag{3}$$

Czas zwłoki chemicznej paliw węglowodorowych jest mały w porównaniu z innymi czasami. Na przykład dla oleju opałowego 2 (mazut M 60) przy temperaturze ośrodka 650-900°C wynosi on τ_2 = 0,0025-0,2 s [12]. Natomiast dla pyłu węglowego o wymiarach 0,02-0,1 mm przy temperaturze ośrodka 750°C czas ten jest τ_6 = 0,01-0,1 s [10]. Przyjęto w dalszych rozważaniach nie uwzględniać czasu zwłoki chemicznej zapłonu oleju ($\tau_2 \approx 0$) oraz pyłu ($\tau_6 \approx 0$). Podobnie czas odgazowania ziaren węgla jest mały, gdyż na przykład dla ziaren o średnicy 0,088 mm wynosi on τ_5 = 0,027 s. W dalszych rozważaniach pominięto tę wielkość ($\tau_5 \approx 0$).

3.1. Kropla COM z lekkim olejem

Całkowity czas spalania kropli COM z lekkim olejem można wyrazić jako sumę:

$$\tau_{0c} = \tau_1 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_7 \tag{4}$$

Obliczenie czasu τ_1 opiera się na współczynniku wnikania ciepła α_1 uwzględniającym konwekcję i promieniowanie. Czas ten określa się z równania opisującego nieustalone przewodzenie ciepła w kuli z trzecim warunkiem brzegowym:

$$\tau_1 = \frac{d_c^2}{4_{ac}\, z_{1c}^2} \left[\ln \frac{t_{ex} - t_1}{t_{ex} - t_{21}} + \right.$$

$$\left. + \ln \left(2 \frac{\sin z_{1c} - z_{1c} \cos z_{1c}}{z_{1c} - \sin z_{1c} \cos z_{1c}} \cdot \frac{\sin z_{1c}}{z_{1c}}\right)\right] \tag{5}$$

Czas spalania warstwy oleju o grubości $0,5(d_{0c} - d_e)$ wyznacza się z zależności:

$$\tau_3 = \frac{d_{0c}^2 - d_e^2}{k_1} \tag{6}$$

Ekwiwalentną średnicę ziaren w kropli COM lekkiego oleju wyznacza się przyjmując, że w miarę wypalania się oleju ziarna węgla skupiają się w środku tworząc jedno zastępcze ziarno o średnicy d_e i gęstości ϱ_s. Prowadzi to do wzoru:

$$d_e = d_{0c} \sqrt[3]{\frac{1}{g + (1 - g)\varrho_s/\varrho_1}} \tag{7}$$

Po wypaleniu się lekkiego oleju ziarno zastępcze rozpada się na szereg indywidualnych ziaren o różnych średnicach początkowych. Czas podgrzewania i spalania tych ziaren jest nie większy od czasu podgrzewania i spalania największego ziarna $d_{s\,max}$. Czas podgrzewania ziarna τ_4 wyznacza się analogicznie jak w przypadku fazy olejowej (równ. (5)) przyjmując wymiar $d_{s\,max}$, stałe materiałowe a_s, λ_s oraz zakres podgrzewania ziarna od temperatury nasycenia oleju t_n do temperatury zapłonu ziarna t_{zs}:

$$\tau_4 = \frac{d^2_{s\,max}}{4a_s z^2_{1s}} \left[\ln \frac{t_{ex} - t_n}{t_{ex} - t_{zs}} + \right.$$

$$\left. + \ln\left(2 \frac{\sin z_{1s} - z_{1s} \cos z_{1s}}{z_{1s} - \sin z_{1s} \cos z_{1s}} \cdot \frac{\sin z_{1s}}{z_{1s}}\right)\right] \tag{8}$$

Przyjmując dyfuzyjny obszar spalania wyznacza się czas spalania ziarna węgla:

$$\tau_7 = \frac{d^2_{s\,max}}{k_s} \tag{9}$$

Podstawiając równania (5), (6), (7), (8), (9) do (4) otrzymuje się:

$$\tau_{0c} = \frac{d^2_{0c}}{4a_c z^2_{1c}} \left[\ln \frac{t_{ex} - t_1}{t_{ex} - t_{zl}} + \right.$$

$$\left. + \ln\left(2 \frac{\sin z_{1c} - z_{1c} \cos z_{1c}}{z_{1c} - \sin z_{1c} \cos z_{1c}} \frac{\sin z_{1c}}{z_{1c}}\right)\right] +$$

$$+ \frac{d^2_{0c}}{k_1} \left[1 - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon + (1 - \varepsilon)\, {}_s/_1}\right)^{2/3}\right] +$$

$$+ \frac{d^2_{s\,max}}{4a_s z^2_{1s}} \left[\ln \frac{t_{ex} - t_n}{t_{ex} - t_{zs}} + \right.$$

$$\left. + \ln\left(2 \frac{\sin z_{1s} - z_{1s} \cos z_{1s}}{z_{1s} - \sin z_{1s} \cos z_{1s}} \frac{\sin z_{1s}}{z_{1s}}\right)\right] + \frac{d^2_{s\,max}}{k_1} \tag{10}$$

Na podstawie tego równania możliwe jest badanie wpływu różnych parametrów na całkowity czas spalania kropli COM. Możliwe jest również wyznaczenie całkowitej stałej spalania kropli COM dzieląc d^2_c przez τ_{0c} (równ. (2)).

3.2. Kropla COM z ciężkim olejem

Czas podgrzewania kropli COM oblicza się takim samym wzorem jak wzór (5) z odpowiednimi danymi materiałowymi.

W przypadku kropli COM z ciężkim olejem podgrzewanie pyłu węglowego odbywa się w trakcie spalania fazy olejowej, gdyż temperatura w środku płonącej kropli takiego paliwa osiąga wartość rzędu 900-1100 K. Można więc przyjąć, że czas podgrzewania pyłu jest znikomo mały ($\tau_4 \approx 0$). Całkowity czas spalania kropli COM wynosi więc:

$$\tau_{0c} = \tau_1 + \tau_3 + \tau_7 \tag{11}$$

W miarę wypalania oleju postępuje proces pirolizy frakcji olejowej oraz węgla. Powstaje nowa jakościowo substancja składająca się z koksu olejowego i koksu węglowego (karbonizatu). Wskutek ruchu wirowego substancji ciekłej ziarna sklejone koksem olejowym skupiają się w środku według pewnego modelu upakowania.

Według teorii reologicznych najbardziej prawdopodobny jest model, w którym stosunek objętości zajętej przez ziarna do całkowitej objętości mieszaniny karbonizatu z koksem olejowym wynosi 0,74 [13]. Na tej podstawie można wyprowadzić wzór na ekwiwalentną średnicę konglomeratu karbonizatowo-koksowego:

$$d_{es} = 1{,}105\, d_{0c} \sqrt[3]{\frac{g}{g + (1-g)\varrho_s/\varrho_1}} \tag{12}$$

Czas spalania fazy olejowej o grubości $0{,}5(d_{0c} - d_{es})$ wyznacza się na podstawie wzoru (6). Czas spalania fazy stałej wyznacza się z zależności:

$$\tau_7 = \frac{d_{es}^2}{k_1} \tag{13}$$

Podstawiając wzory (5), (6), (12) i (13) do (11) otrzymuje się wzór na całkowity czas spalania kropli COM z ciężkim olejem:

$$\tau_{0c} = \frac{d_{0c}^2}{4a_c z_{1c}^2} \Big[\ln \frac{t_{ex} - t_1}{t_{ex} - t_{zl}} +$$

$$+ \ln\Big(2 \frac{\sin z_{1c} \cos z_{1c}}{z_{1c} - \sin z_{1c} \cos z_{1c}} + \frac{\sin z_{1c}}{z_{1c}}\Big)\Big] +$$

$$+ \frac{d_{0c}^2}{k_1} \Big[1 - 1{,}221\Big(\frac{g}{g - (1-g)\,{}_s/_1}\Big)^{2/3}\Big] +$$

$$+ 1{,}221 \frac{d_{0c}^2}{k_s}\left(\frac{g}{g + (1 - g)\, {}_s/_l}\right)^{2/3} \tag{14}$$

Ze wzoru (14) otrzymuje się wzór na całkowitą stałą spalania kropli COM dzieląc d_{0c}^2 przez τ_{0c}.

4. WYNIKI OBLICZEŃ

Dla danych zawartych w tablicy 1 przeprowadzono numeryczne obliczenia, których wyniki przedstawiono na rysunkach 1-6 [14]. Na wszystkich rysunkach zachowano jednolite oznaczenia. Brak linii reprezentującej którykolwiek ze składowych czasów oznacza, że czas ten ma stałą lub prawie stałą wartość.

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono zależność całkowitej stałej spalania kropli od udziału płynu węglowego dla COM z olejem lekkim i ciężkim.

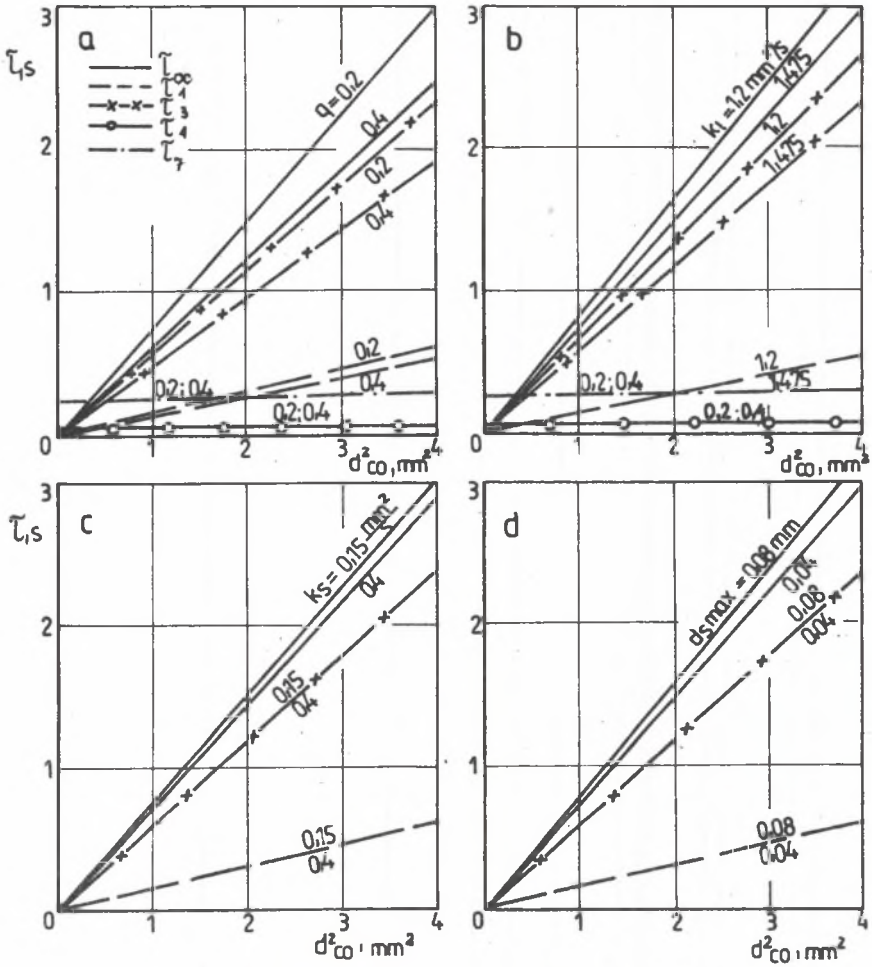
5. ANALIZA WYNIKÓW

Czasy podgrzewania i spalania pyłu węglowego τ_4 i τ_7 w kropli COM z lekkim olejem są stałe, gdyż zależą tylko od wielkości ziarna maksymalnego. Całkowity czas spalania τ_{0c}, czas podgrzewania τ_1 oraz czas spalania fazy olejowej τ_3 są wprost proporcjonalne do kwadratu początkowej średnicy kropli (rys. 1).

Bardzo wyraźnie widoczne jest zmniejszanie się czasów τ_{0c} i τ_3 ze wzrostem udziału pyłu węglowego (rys. 2). Wynika to stąd, że ze wzrostem g maleje ilość oleju w kropli COM. Również dość duży wpływ wywiera wzrost stałej spalania fazy olejowej lekkiej (rys. 2b i rys. 3a). Natomiast mniejszy wpływ na przebieg zjawiska ma stała spalania pyłu węglowego (rys. 2c i rys. 3b) szczególnie przy $k_s > 0{,}15$ mm^2/s. Wpływ średnicy maksymalnej ziarna jest dosyć duży w bezwzględnych wartościach (rys. 2d). Jednakże w odniesieniu do wpływu innych wielkości wpływ ten staje się mniejszy.

Z rys. 7 wynika, że ze wzrostem udziału pyłu rośnie całkowita stała spalania COM z olejem lekkim. Wynika to stąd, że ze wzrostem ilości pyłu maleje ilość fazy ciekłej w kropli COM, a więc skraca się czas spalania tej fazy. Natomiast czas spalania oraz podgrzewania pyłu węglowego jest stały, gdyż zależy od wielkości ziarna maksymalnego. Również czas podgrzewania kropli τ_1 jest prawie stały, gdyż zależy głównie od średnicy początkowej kropli COM (rys. 2a).

W przypadku kropli COM z ciężkim olejem zachowana jest liniowa zależność czasu od kwadratu średnicy początkowej (rys. 4). Ze wzrostem udziału

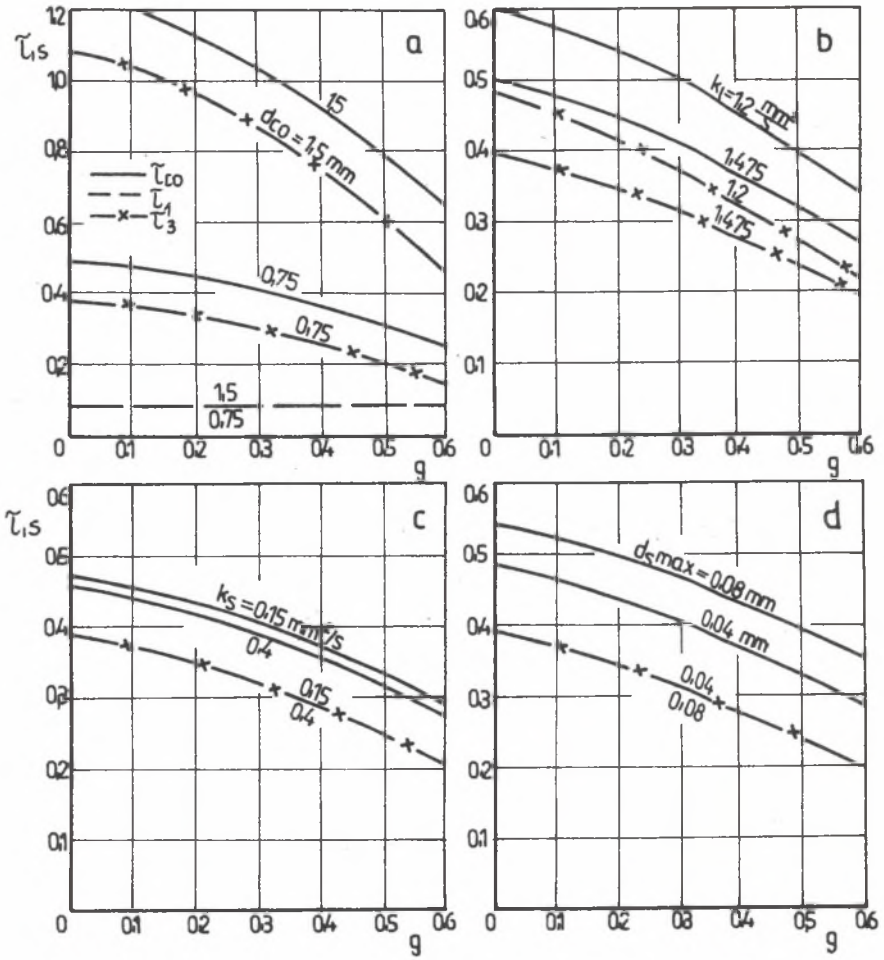


Rys. 1. Czas spalania w zależności od kwadratu początkowej średnicy kropli COM z olejem lekkim

a) wpływ udziału pyłu węglowego, b) wpływ stałej spalania oleju, c) wpływ stałej spalania pyłu, d) wpływ maksymalnej średnicy pyłu

Fig. 1. Combustion time as a function of square of initial droplet diameter of COM with light oil

a) influence of gram fraction of coal dust, b) influence of burning rate coefficient of oil, c) influence of burning rate coefficient of coal dust, d) influence of maximum dust diameter

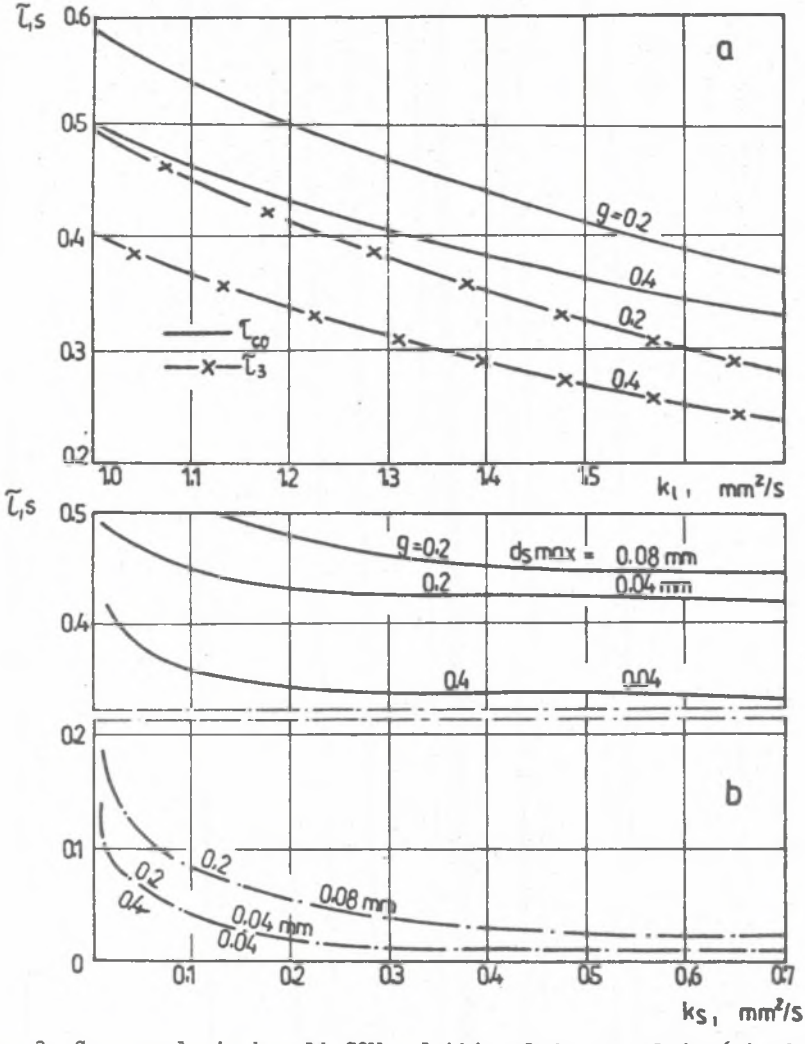


Rys. 2. Czas spalania kropli COM z lekkim olejem w zależności od udziału pyłu

a) wpływ średnicy początkowej, b) wpływ stałej spalania oleju, c) wpływ stałej spalania pyłu, d) wpływ maksymalnej średnicy ziarna

Fig. 2. Combustion time as a function of coal dust gram fraction of COM droplet with light oil

a) influence of initial droplet diameter, b) influence of burning rate coefficient of coal dust, d) influence of maximum dust diameter

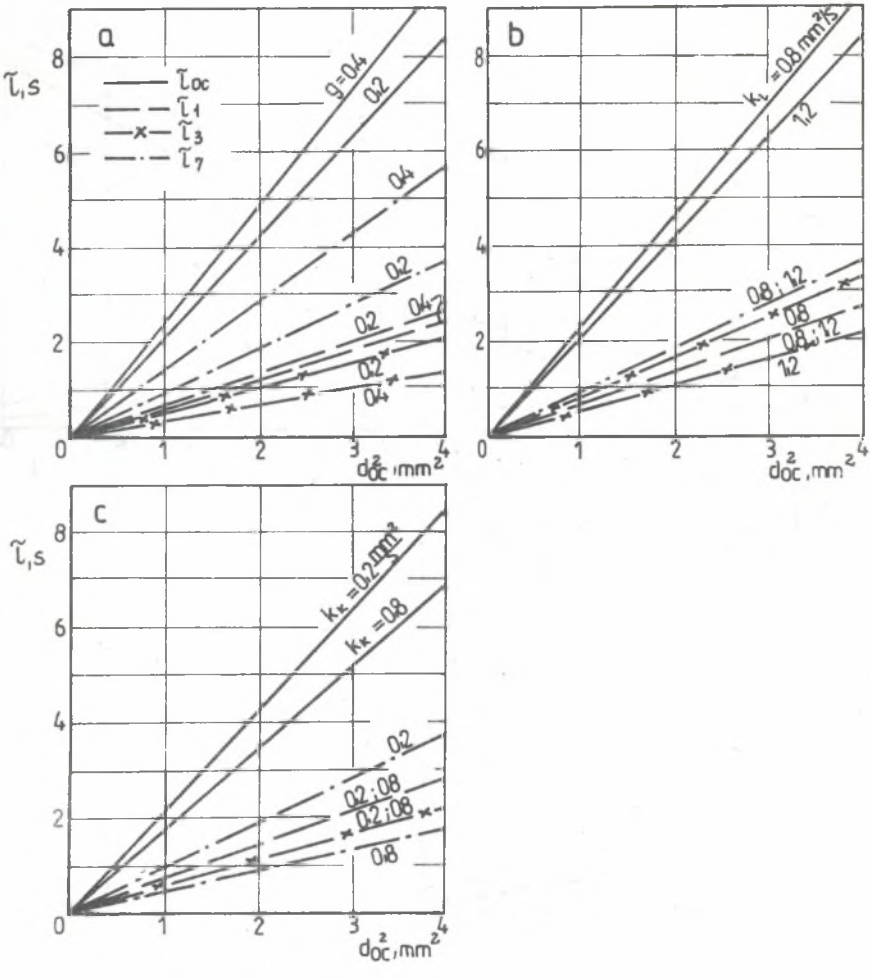


Rys. 3. Czas spalania kropli COM z lekkim olejem w zależności od stałej spalania

a) stała spalania oleju, b) stała spalania pyłu węglowego

Fig. 3. Combustion time of COM droplet with light oil as a function of burning rate coefficient

a) burning rate doeficient of oil, b) burning rate coefficient of coal dust

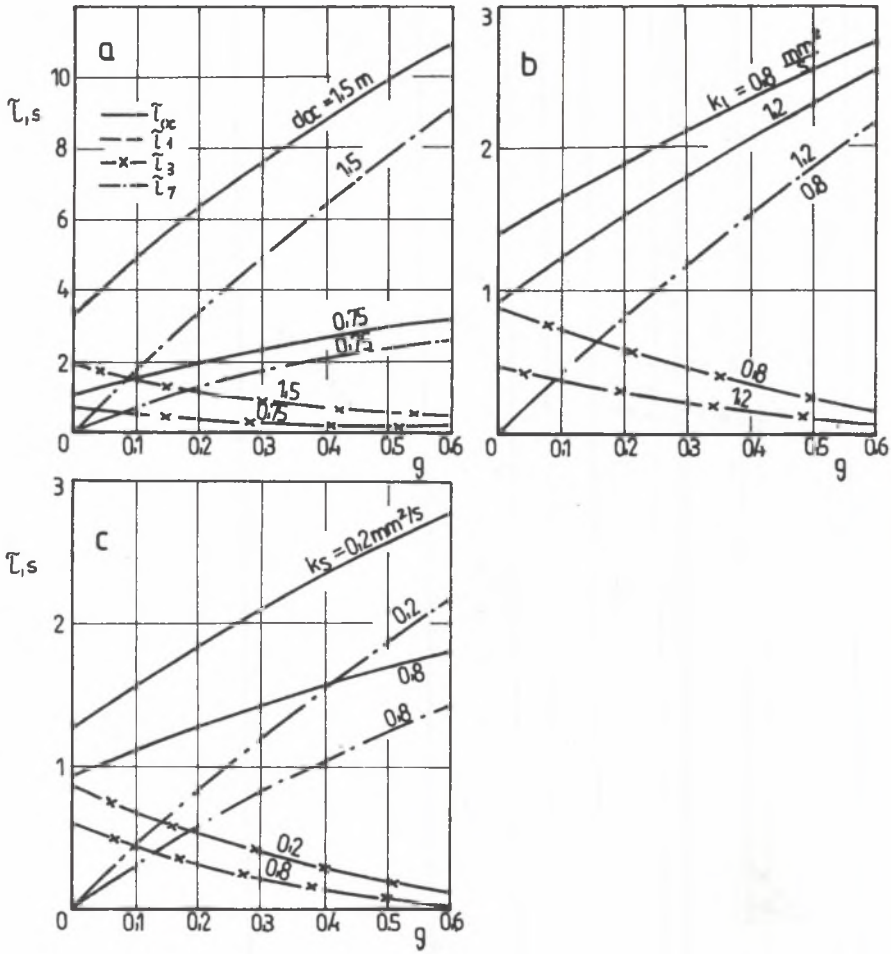


Rys. 4. Czas spalania kropli COM z ciężkim olejem w zależności od kwadratu początkowej średnicy

a) wpływ udziału pyłu, b) wpływ stałej spalania oleju, c) wpływ stałej spalania konglomeratu karbonizatowo-koksowego

Fig. 4. Combustion time of COM droplet with heavy oil as a function of square droplet diameter

a) influence of gram fraction, b) influence of burning rate coefficient of oil, c) influence of burning rate coefficient of carbonizate-coke conglomerate

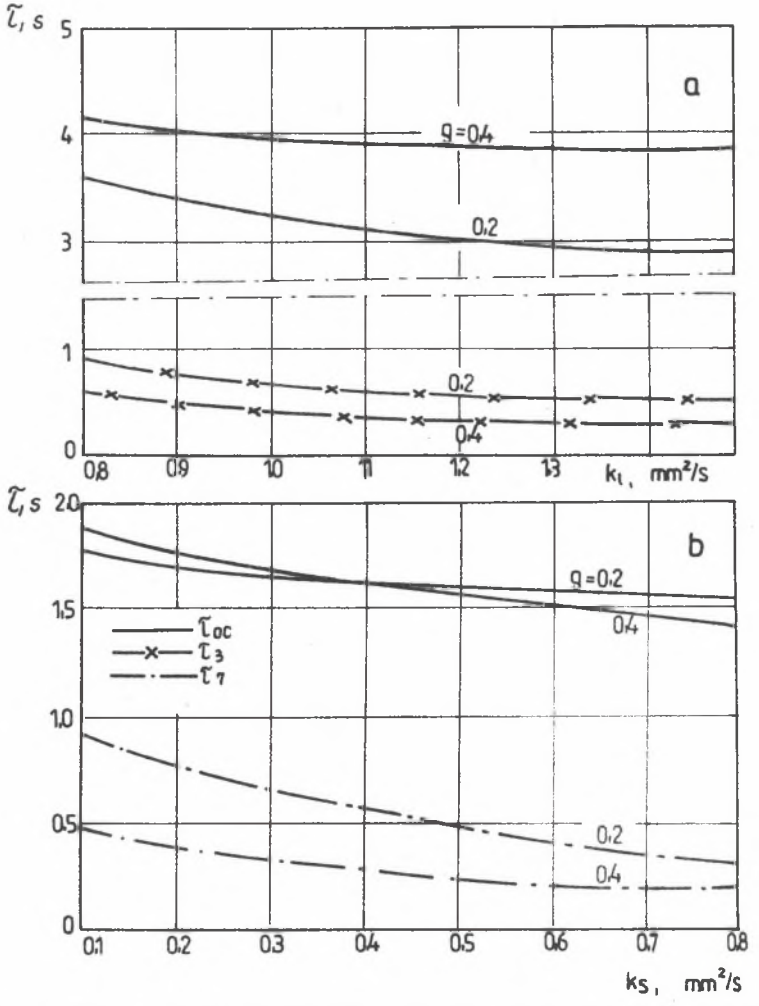


Rys. 5. Czas spalania kropli COM z ciężkim olejem w zależności od udziału pyłu węglowego

a) wpływ początkowej średnicy, b) wpływ stałej spalania oleju, c) wpływ stałej spalania konglomeratu

Fig. 5. Combustion time of COM droplet with heavy oil as a function of gram fraction of coal dust

a) influence of initial droplet diameter, b) influence of burning rate coefficient of oil, c) influence of burning rate coefficient of conglomerate

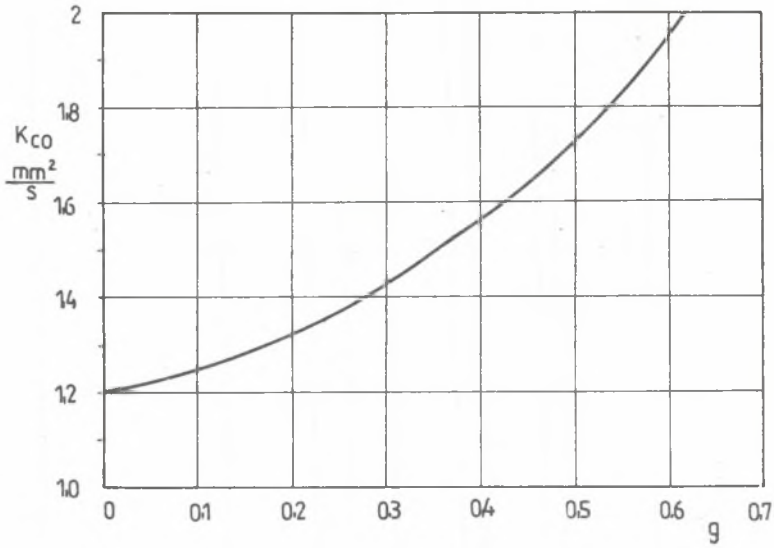


Rys. 6. Czas spalania kropli COM z ciężkim olejem w zależności od stałej spalania

a) stała spalania oleju, b) stała spalania konglomeratu

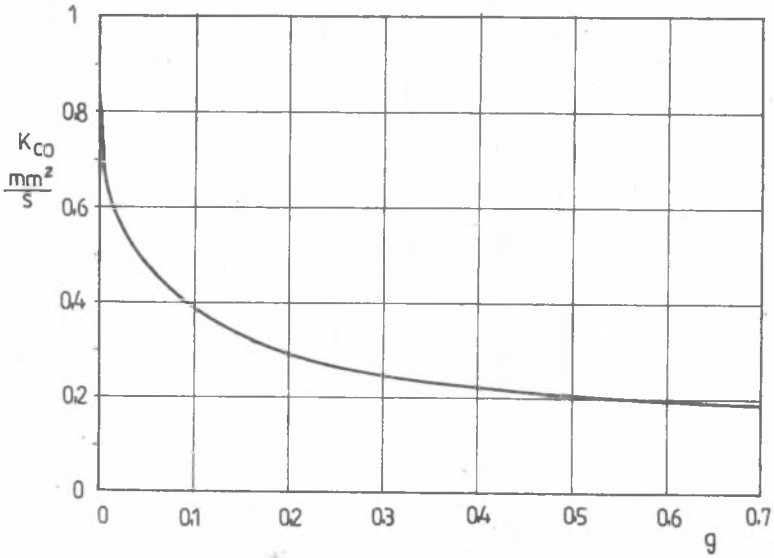
Fig. 6. Combustion time of COM droplet with heavy oil as a function of burning rate coefficient

a) burning rate doefficient of oil, b) burning rate coefficient of conglomerate



Rys. 7. Całkowita stała spalania kropli COM z lekkim olejem w funkcji udziału pyłu węglowego

Fig. 7. Overall burning rate coefficient of COM droplet with light oil as a function of gram fraction of coal dust



Rys. 8. Całkowita stała spalania kropli COM z ciężkim olejem w funkcji udziału pyłu węglowego

Fig. 8. Overall burning rate coefficient of COM droplet with heavy oil as a function of gram fraction of coal dust

pyłu rośnie całkowity czas spalania kropli COM, chociaż maleje czas spalania fazy ciekłej τ_3 (rys. 5). Jednak wpływ silnie rosnącego czasu spalania pyłu τ_7 przeważa spadek czasu τ_3. Wpływ stałej spalania fazy olejowej jest mniejszy niż w przypadku oleju lekkiego (rys. 6a). Natomiast wpływ charakterystyki spalania pyłu jest większy (rys. 6b).

Wpływ pyłu węglowego na całkowitą stałą spalania(rys. 8) jest odmienny niż w przypadku COM z olejem lekkim. Ze wzrostem ilości pyłu maleje stała spalania, gdyż rośnie całkowity czas spalania. Początkowo spadek K_{cO} jest duży, a następnie przy udziałach pyłu większych od 20% spadek K_{cO} jest powolny.

Reasumując, dodawanie pyłu do lekkiego oleju zwiększa całkowitą stałą spalania i jest to objaw korzystny. Natomiast w przypadku COM z olejem ciężkim całkowita stała spalania maleje i należy to brać pod uwagę przy zastępowaniu oleju ciężkiego mieszaniną tego oleju z pyłem węglowym.

LITERATURA

[1] Chomiak J.: Podstawowe problemy spalania. PWN, Warszawa 1977.

[2] Saito M., Sadakata M., Sakai T.: Fuel, 1983, 62, 1481.

[3] Sakai T., Saito M.: Combustion and Flame, 1983, 51, 141.

[4] Petela R.: Fuel, 1985, 64, 691.

[5] Kang Chyi-Fwu at al.: 4th Int. Symp. on Coal Slurry Combustion, Orlando, Fl, May 1982.

[6] Casses R.P., Hedley A.B.: 4th Int. Symp. on Coal Slurry Combustion, Orlando, Fl, May 1982.

[7] Wilk R., Błaszczyk J., Zajdel A.: Problemy Projektowe nr 3, 1986, s. 82-89.

[8] Wilk R.: Badanie zjawiska spalania kropli ciężkiego paliwa ciekłego, ZN Pol. Śl., Energetyka z. 81, Gliwice 1982.

[9] Williams A.: Teorija gorienija (tłum. z ang.), Nauka, Moskwa 1971.

[10] Tomeczek J.: Spalanie węgla. Skrypt Pol. Śl., Gliwice 1982.

[11] Petela R., Zajdel A.: Fuel, 1980, No 7 i No 10.

[12] Kułagin L.W., Ochotnikow S.S.: Sżiganije tiażołych żidkich topliw. Nedra, Moskwa 1967.

[13] Herczyński R., Pieńkowska I.: Archiwum Mechaniki Stosowanej, 27, 1972.

[14] Teoretyczno-eksperymentalne badania charakterystyk... Praca NB-300/RME-2/RME-3/86 (zad. 2.1.3.7), ITC Pol. Śl., Gliwice 1986.

Ważniejsze oznaczenia

ε - gramowy udział pyłu węglowego,

t - temperatura,

d - średnica kropli, mm,

τ - czas, s,

K - całkowita stała spalania, mm^2/s,

k - stała spalania,

τ_1 - czas podgrzewania kropli COM,

τ_2 - czas zwłoki chemicznej zapłonu oleju,

τ_3 - czas spalania oleju,

τ_4 - czas podgrzewania ziarna pyłu,

τ_5 - czas odgazowania ziarna pyłu,

τ_6 - czas zwłoki chemicznej zapłonu pyłu,

τ_7 - czas spalania pyłu,

Bi - liczba Biota,

z_{1c} - pierwszy pierwiastek równania $tg\, z_{1c} = z_{1c}/(1 - Bi_c)$ dla COM,

z_{1s} - pierwszy pierwiastek równania $tg\, z_{1s} = z_{1s}/(1 - Bi_s)$ dla maksymalnego ziarna pyłowego.

Indeksy

o - całkowite spalanie,

1 - początkowy stan,

n - stan nasycenia,

s - faza stała,

c - COM,

l - faza ciekła,

z - zapłon,

ex - ośrodek,

e - ekwiwalentny.

Tablica 1

Dane do obliczeń czasu spalania

Wielkość	Olej lekki (olej napędowy Z1)	Olej ciężki (mazut M 100)	Pył węglowy
Temperatura ośrodka t_{ex}, °C	1500	1500	1500
Temperatura początkowa kropli, t_1, °C	20	20	-
Stała spalania ziarna, k_s, mm^2/s	0,15	-	-
Stała spalania konglomeratu karboniz.-koksowego, k_s, mm^2/s		0,2	-
Stała spalania oleju, k_l, mm^2/s	1,475	1,2	
Właściwa pojemność cieplna, c_p, kJ/kgK	2,2	2,4	1,3
Temp. zapłonu, t_z, °C	90	220	710
Wsp. przewodn. cieplnego oleju, λ_l, W/mK	0,14	0,15	0,25
Wsp. przewodn. cieplnego ziarna, λ_s, W/mK	0,25	-	-
Wsp. przewodn. cieplnego ośrodka, λ_{ex}, W/mK	0,02	0,02	-
Masowy udział pyłu, g, %	0-60	0-60	0-60
Początk. średn. pyłu węglowego, d_s, mm	0,04-0,2	0,04-0,2	0,04-0,2
Maks. średn. ziarna w oleju $d_{s\ max}$, mm	0,04	-	-
Sredn. kropli COM, d mm	0,75	0,75	-
Temperatura nasycenia, t_n, °C	250	-	-
Gęstość, ϱ, kg/m^3	850	998	1400
Wsp. wyrównania temperat. ziarna, a_s, m^2/s			1.35 E-7
Udział pyłu węglowego, g	0,2	0,2	-

РАСЧЕТЫ ПО МЕТОДУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ ПОСТОЯННОЙ СЖИГАНИЯ ПЫЛЕВО-МАСЛЕННОЙ КАПЛИ

Р е з ю м е

В работе дано описание сжигания пылево-масленной капли. Получены формулы для общего времени сжигания пылкво-масленной капли с тяжелыми и легкими маслами. Произведены расчеты этого времени, исследуя влияние изменяющихся свойств масла и пыли. Произведен расчет постоянной общего сжигания. Показано, что добавление пыли в пылево-масленной капле с легким маслом увеличивает общую постоянную сжигания. В случае же капли с тяжелым маслом постоянная сжигания уменьшается.

ANALYTICAL METHOD OF DETERMINATION OF OVERALL BURNING RATE COEFFICIENT OF COAL DUST-OIL DROPLET

S u m m a r y

The phenomenon of coal dust-oil droplet has been described. The formulae for the total combustion time of coal dust-oil droplet with light and heavy oils have been derived. The calculations of this time have been carried out and the influence of changing properties of the oil and the coal dust has been studied. The overall burning rate coefficient has been calculated too. There has been found that the addition of the addition of the coal dust increases the overall burning rate coefficient of coal dust-oil droplet with light oil. But in case of the coal dust-oil droplet with heavy oil the overall burning rate coefficient decreases.