

Jan NADZIAKIEWICZ, Antoni ZAJDEL

BADANIE EMISYJNOŚCI PŁOMIENI OLEJOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę wyznaczania emisyjności płomieni olejowych. Metoda opiera się na założeniu, że płomień jest zdefiniowany jako widzialna część objętości gazów, w której zachodzi spalanie. Emisyjność wyznaczana jest według metody Schmidta, a pomiary wykonywano w doświadczalnej komorze spalania pirometrem reagującym jedynie na wąskie pasmo promieniowania, leżące pomiędzy pasmami promieniowania gazów. Pomiary prowadzono wzdłuż długości płomienia, a ich rezultaty przedstawiono w tablicy i na rysunku.

INVESTIGATIONS OF THE EMISSIVITY OF AN OIL FLAME

Summary. In the paper a method of determining of an emissivity of an oil flame is presented. For the purpose of this investigation, flame volume is defined as a visible volume of hot gases and burning particles in the flame region. Method of determining of the flame emissivity is based on a Schmidt method. Measurements were performed in the experimental combustion chamber with the use of the narrow angle radiation pyrometer of a sensitivity range lying in the "window" of combustion gases. Experiments were performed along the flame axis and results of measurements and calculations are presented in tables and in figures.

UNTERSUCHUNG DER EMISSIONSKOEFFIZIENTEN BEI ÖLFLAMMEN

Zusammenfassung. Die Bestimmungsmethode der Emissionskoeffizienten bei Ölflammen wurde vorgestellt. Die Flamme wurde als sichtbarer Teil des Gasvolumens in dem die Verbrennung verläuft definiert. Der Emissionskoeffizient wurde nach der Schmidt-Methode bestimmt. Die Messungen wurden in der Prüfkammer, entlang der Flamme, mit einem nur auf schmales Strahlungsband reagierendem Pyrometer durchgeführt. Die Messresultate wurden in Tabellen und Abbildungen dargestellt.

1. WSTĘP

Badania promieniowania ciepłego w komorze spalania mają duże znaczenie dla projektowania i eksploatacji komór spalania w takich urządzeniach, jak kotły, piece grzewcze i inne. Podstawowym sposobem przenoszenia ciepła w komorze wypełnionej spalinami przy obecności płomienia jest promieniowanie. Konwekcja, chociaż obecna, ma tylko niewielki udział w przenoszeniu ciepła do ścian i do wsadu.

W obliczeniach radiacyjnej wymiany ciepła w komorze spalania istotne są dwa elementy: znajomość własności radiacyjnych płomienia oraz zastosowanie metody obliczeń odpowiedniej do warunków w komorze.

2. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI RADIACYJNYCH PŁOMIENIA

Traktując płomień jako bryłę gazu wyodrębnioną z masy spalin i mającą odmienne właściwości (skład chemiczny, temperatura, prędkość gazu, absorpcyjność promieniowania i in.) można powiedzieć, że w komorze spalania wymiana ciepła odbywa się między czterema elementami: płomieniem, spalinami, ścianami komory oraz wsadem. Każdy z tych elementów ma określone właściwości radiacyjne (emisyjność, absorpcyjność) oraz temperaturę.

Określenie właściwości radiacyjnych elementów gazowych na podstawie teoretycznych zależności jest trudne i obarczone dużym błędem głównie z powodu braku odpowiednich równań oraz niejednorodności bryły gazowej co do temperatury i składu. Dlatego korzystniej jest opierać się na pomiarach wykonywanych w komorach spalania.

Pomiar absorpcyjności bryły gazowej może być wykonany metodą Schmidta, opierającą się na pomiarach intensywności promieniowania pochodzącego od badanej bryły gazowej, obserwowanej na zimnym i na gorącym tle. Pomiaru takie wykonywane są za pomocą pirometrów wąskokątnych. Zimnym tłem może być chłodzona wodą puszka metalowa (temperatura ok. 300 K), a gorącym tłem może być rozgrzana ściana pieca. Absorpcyjność bryły gazowej jest obliczana z zależności:

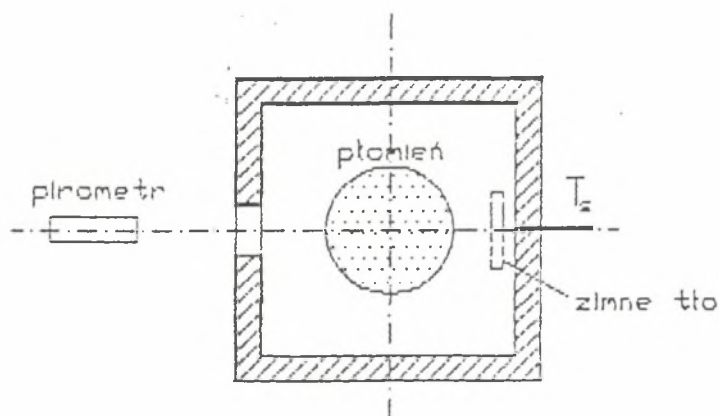
$$a = 1 - \frac{(i_h - i_c)}{i_w} \quad (1)$$

gdzie i_h i i_c są wartościami intensywności promieniowania bryły gazowej padającego do pirometru zmierzone na gorącym i na zimnym tle, a i_w jest intensywnością promieniowania ściany (gorącego tła) emitowanego w kierunku płomienia.

Wyznaczona w ten sposób wartość a jest absorpcyjnością promieniowania pochodzącego od ściany w bryle gazowej. Jest ona w przybliżeniu równa

emisyjności bryły płomienia; szczególnie w sytuacji, gdy pochłanianie promieniowania zachodzi głównie w cząstkach stałych i kropłach paliwa w płomieniu.

Wartość zmierzonej absorpcyjności zależy między innymi od szerokości pasma promieniowania, na który reaguje pirometr, którym wykonywano pomiary. Jeżeli jest to pirometr całkowitego promieniowania, to rejestruje on promieniowanie o wszystkich długościach fal, a więc zarówno promieniowanie cząstek stałych zawartych w płomieniu, jak i promieniowanie składników gazowych płomienia. Pirometr „monochromatyczny” reaguje jedynie na promieniowanie zawarte w wąskim paśmie promieniowania i stąd wartości nim zmierzone mogą odbiegać od wartości zmierzonych pirometrem całkowitego promieniowania. Te różnice w zakresach czułości pirometrów mogą, przy odpowiedniej interpretacji, dostarczyć wielu dodatkowych, cennych informacji o badanym obiekcie, co zostało wykorzystane w poniższych obliczeniach.



Rys. 1. Przekrój komory spalania

Fig. 1. Cross section of the combustion chamber

3. PROMIENIOWANIE BRYŁY PŁOMIENIA OLEJOWEGO

Na promieniowanie emitowane przez bryłę płomienia paliwa stałego lub ciekłego składa się promieniowanie nagranych cząstek paliwa (pyłu węglowego lub kropli oleju), promieniowanie cząstek sadzy powstających w procesie spalania oraz promieniowanie gazów będących produktami spalania. Cząstki stałe (paliwo i sadza) promieniają w całym zakresie długości fal (widmo ciągłe), natomiast składniki gazowe promieniają tylko w zakresach niektó-

rych pasm, o długościach fali i szerokości zależnych od rodzaju składnika promieniującego i od parametrów termicznych. Podobnie jak emisja promieniowania płomienia, również absorpcja promieniowania w bryle płomienia odbywa się w zakresie widma ciągłego (absorpcja cząstek stałych) oraz w zakresie pasm (absorpcja gazów). Efekt całkowity wymiany ciepła między płomieniem a ścianami komory spalania jest więc sumą promieniowania o podwójnym charakterze.

Możliwe jest jednak pomiarowe rozróżnienie promieniowania cząstek stałych od promieniowania gazów zawartych w płomieniu. W tym celu należy do pomiarów użyć pirometru o zakresie czułości widmowej leżącym pomiędzy istotnymi pasmami promieniowania gazów zawartych w płomieniu (w tzw. „oknach”). Pirometry takie używane są w przemyśle do pomiarów temperatury powierzchni nagrzewanych materiałów lub ścian bez zakłóceń ze strony gorących gazów spalinowych.

3.1. Pomiary pirometrem wąskopasmowym

Do pomiarów intensywności promieniowania płomienia wykorzystano pirometr wąskopasmowy typu PYRO o czułości w zakresie długości fal promieniowania 4,5 – 5,5 μm (zakres liczb falowych 2222 – 1818 1/cm). Dla sprawdzenia, czy zakres ten leży w obszarze „okna” promieniowania gazów spalinowych, wykonano obliczenia granic pasm dla typowych parametrów spalin w komorze, w której wykonywane były pomiary:

- Paliwo: olej napędowy o składzie: $c = 85\%$, $h = 15\%$.
- Stosunek nadmiaru powietrza: 1,15.
- Skład spalin: $(\text{CO}_2) = 11\%$, $(\text{H}_2\text{O}) = 12\%$.
- Temperatura spalin: $T_s = 1000 \text{ K}$.
- Ciśnienie spalin: $p_s = 100 \text{ kPa}$.
- Zastępcza (obliczeniowa) grubość warstwy spalin: $L_s = 0,60 \text{ m}$.

Dla tych danych wykonano obliczenia granic pasm promieniowania za pomocą programu komputerowego PASMA opracowanego w Instytucie Techniki Ciepłej [1]. Program ten służy do obliczania radiacyjnych strumieni ciepła w objętości wypełnionej promieniującym i absorbującym gazem. Jednym z pośrednich wyników programu są granice pasm gazu, ich absorpcyjności i emisyjności dla modelu pasm czarnych i modelu pasm szarych.

Część wyników w postaci posortowanej tablicy emisyjności pasm przytoczono poniżej.

Jak wynika z przytoczonych danych, dla gazu o podanym składzie zakres przezroczystości gazu („okno”, w którym $\varepsilon = 0$) mieści się między liczbami falowymi 1835,80 a 2165,34 1/cm (długościami fal 5,45 i 4,62 μm), co odpowiada zakresowi czułości pirometru PYRO. Oznacza to, że pirometr ten nie

rejestruje promieniowania pochodzącego od gazu, a jedynie promieniowanie od ciał stałych.

Tablica 1

Wybrane dane z tablicy emisyjności pasm (program PASMA)

Lp.	Pasma czarne			Pasma szare		
	ω_d 1/cm	ω_g 1/cm	ϵ_{cz}	ω_d 1/cm	ω_g 1/cm	ϵ_{sz}
9	1493,78	1706,22	1,00	1364,20	1835,80	0,45
10	1706,22	2208,30	0,00	1835,80	2165,34	0,00
11	2208,30	2410,00	1,00	2165,34	2410,00	0,82
Emisyjność gazu liczona dla pasm szarych ϵ_{sz}						0,213
Absorpcyjność gazu liczona dla pasm szarych a_{sz}						0,206

4. POMIARY W DOŚWIADCZALNEJ KOMORZE SPALANIA

Pomiary promieniowania płomieni wykonywano w doświadczalnej komorze spalania w Instytucie Techniki Ciepłej. Badano płomień olejowy spalane w palniku z rozpylaczem wirowym wspomaganym sprężonym powietrzem. Utrzymywano stały stosunek nadmiaru powietrza równy ok. 1,15. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rys. 1.

Pomiary wykonywano w ciepłym stanie ustalonym komory spalania. Zimnym tłem była chłodzona wodą puszcza metalowa o temperaturze ok. 300 K. Gorącym tłem była nagrzana ściana pieca po przeciwległej do pirometru stronie komory. Temperaturę ściany mierzono termoparami umieszczonymi tuż pod jej powierzchnią.

Intensywność promieniowania padającego do pirometru określano na podstawie temperatury T_p wskazywanej przez pirometr z zależności:

$$i_p(T_p) = \frac{\sigma T_p^4}{\pi} \quad (2)$$

Jest to intensywność promieniowania ciała doskonale czarnego o temperaturze T_p w całym zakresie widma. W przypadku pirometru wąskopasmowego można policzyć intensywność promieniowania rzeczywiście padającego do pirometru w zakresie jego czułości falowej. Należy przy tym skorzystać z tablic udziałów promieniowania o określonej długości fali. Udział promieniowania w zakresie długości fali λ_2 do λ_1 w emisji ciała doskonale czarnego o temperaturze T wynosi:

$$u(T, \lambda_2, \lambda_1) = F(T \cdot \lambda_2) - F(T \cdot \lambda_1) \quad (3)$$

Wartość intensywności promieniowania padającego do pirometru wynosi więc:

$$i(T, \lambda_1, \lambda_2) = i_p(T) \cdot u(T, \lambda_1, \lambda_2) \quad (4)$$

W celu przeprowadzenia obliczeń wartości funkcji $F(t, \lambda)$ zostały aproksymowane wielomianem według tablic zamieszczonych w [2].

W ten sposób wyznaczano intensywności promieniowania na gorącym (i_h) i na zimnym (i_c) tle odpowiednio do zmierzonych pirometrem temperatur T_h i T_c . Intensywność promieniowania samej ściany i_w nie mogła być w ten sposób wyznaczana, ponieważ wymagałoby to każdorazowo wygaszania płomienia i zmiany stanu termicznego komory. Dlatego też intensywność i_w wyznaczano dla temperatury ściany T_w zmierzonej termoparą.

5. WYNIKI POMIARÓW I OBLICZEŃ

Pomiary wykonywano wzdłuż długości płomienia poczynając od punktu leżącego w pobliżu palnika. W wyniku pomiarów jednego z płomieni olejowych otrzymano wyniki podane w tablicy 2.

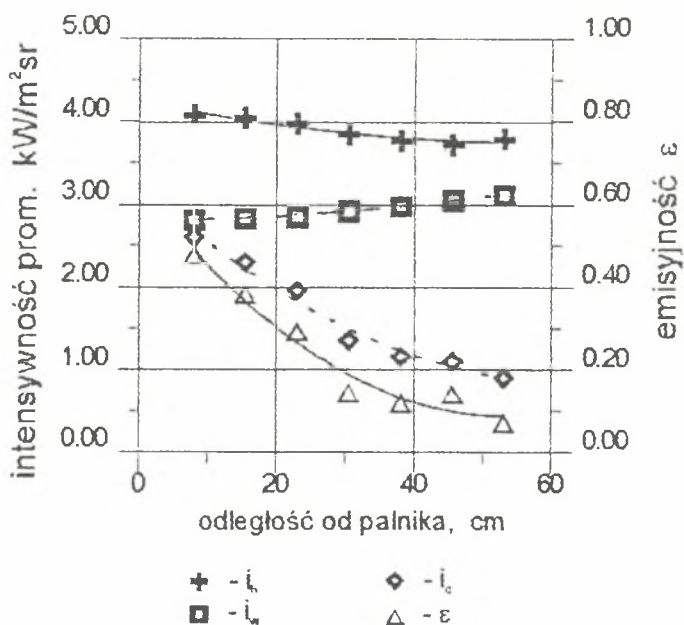
Tablica 2

Wyniki pomiarów i obliczeń

Odl. od paln. cm	8,0	15,5	23,0	30,5	38,0	45,5	53,0
T_h K	1233	1225	1213	1191	1179	1171	1182
T_c K	1028	988	943	853	818	808	768
T_w K	1053	1055	1058	1065	1073	1082	1090
i_h kW/m ²	4,080	4,038	3,974	3,844	3,767	3,713	3,787
i_c kW/m ²	2,610	2,295	1,956	1,351	1,148	1,094	0,892
i_w kW/m ²	2,810	2,830	2,849	2,911	2,970	3,043	3,110
ϵ	0,477	0,383	0,291	0,143	0,119	0,139	0,070

Wyniki pomiarów przedstawiono również na wykresie (rys. 2). Jak widać, emisyjność płomienia maleje z odległością od palnika i praktycznie w odległości około 50 cm od palnika jest już bardzo mała.

Należy podkreślić, że podane wartości emisyjności płomienia dotyczą jedynie cząstek stałych i ciekłych w płomieniu, tj. cząstek paliwa ciekłego oraz cząstek sadzy. Gazy spalinowe, znajdujące się również w objętości płomienia,



Rys. 2. Zmierzone intensywności promieniowania i emisyjności wzdłuż płomienia

Fig. 2. Measured intensities of radiation and emissivity along the flame axis

mają również swoją emisyjność zależną głównie od ich składu. Na całkowitą emisyjność płomienia składają się obydwie te emisyjności.

6. WNIOSKI

W pracy przedstawiono sposób pomiaru właściwości radiacyjnych płomieni olejowych. Ciekawą własnością przedstawionej metody jest to, że pozwala ona na określenie właściwości radiacyjnych chmury cząstek stałych w płomieniu praktycznie bez wpływu promieniowania gazów. Aby uwzględnić promieniowanie i absorpcję gazów spalinowych w bryle płomienia, należałoby zastosować podobną metodę dla zakresu pasm promieniowania gazów, np. przez wykorzystanie pirometru całkowitego promieniowania.

LITERATURA

- [1] Wolski J.: Obliczenia radiacyjnej wymiany ciepła w piecu komorowym przy zastosowaniu modelu pasmowego promieniowania gazów. Praca dypl. magisterska. Pol. Śl., Gliwice 1992.
- [2] Rudnicki Z.: Radiacyjny przepływ ciepła w piecach przemysłowych. Skrypt Pol. Śl., Gliwice 1985.
- [3] Kostowski E.: Promieniowanie cieplne. PWN, Warszawa 1993.

Recenzent: Dr hab. inż. Zbigniew RUDNICKI

Wpłynęło do Redakcji: 8. 02. 1995 r.

Abstract

In the paper a method of determining of an emissivity of an oil flame is presented with some results of measurements. Measurements were performed in the experimental combustion chamber using the narrow angle radiation pyrometer. For the purpose of this investigation, flame volume is understood as a visible volume of hot gases and burning particles in the flame region.

The sensitivity of the pyrometer is only for radiation in a band between 4,5 and 5,5 μm . This band corresponds to a "window" in gas absorption bands. As a result, pyrometer sees only radiation of the solid soot particles and small droplets of the fuel in the flame volume. The result of measurement is the temperature shown by a pyrometer. This temperature corresponds to the intensity of radiation coming to the pyrometer from the direction of the flame.

Method of determining of flame emissivity uses a Schmidt method, which is based on the results of measurements of radiation intensity coming from the flame with a cold- and hot background. As a cold background, water cooled metal box was used while as the hot background the hot wall behind the flame is taken. The additional information needed is intensity of radiation coming off the hot wall of the chamber – in this case temperature of the wall is measured by a thermocouple.

Measurements were performed along the flame axis and values of intensity i_h with a hot background, i_c with a cold background and i_w of the wall was determined. Using these results emissivity of the flame along its axis is determined – this emissivity corresponds to a density of solid particles in the flame volume. Results of measurements and calculations are presented in tables and in figures.