ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1973

Seria: Energetyka z. 48 Nr kol. 375

Ryszard Petela
Instytut Techniki Cieplnej

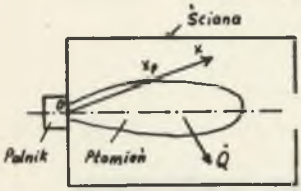
TEORETYCZNA PRÓBA SFORMUŁOWANIA METODY OPTYMALIZACJI PROMIENIOWANIA PŁOMIENIA

Streszczenie. Dla danego typu palnika kinetyczno-dyfuzyjnego wskazano na możliwość określenia wartości stosunku nadmiaru pierwotnego powietrza, przy której promieniowanie płomienia do określonej ściany jest maksymalne. Wartość ta zależy nie tylko od temperatury i emisyjności płomienia, lecz również od pola powierzchni płomienia. Granicę obszaru płomienia zaproponowano określać za pomocą stopnia wypalenia paliwa zdefiniowanego wzorem (5).

W praktyce technicznej często dąży się do uzyskania płomienia o takich własnościach, aby odpływ ciepła od niego był możliwie jak najintensywniejszy. Uzyskuje się w ten sposób odpowiednie przyspieszenie procesu cieplnego, w którym płomień odgrywa rolę źródła ciepła napędowego. Odpływ ciepła z płomienia zachodzi przez konwekcję i promieniowanie. Ten drugi sposób, przy wysokich temperaturach, jakie występują w płomieniu, odgrywa dużą rolę i dlatego wydajność promieniowania płomienia zasługuje na rozważania. Spotyka się więc często próby teoretyczne i praktyczne zmierzające do określenia parametrów charakteryzujących organizację procesu spalania, których wartości zapewniłyby najwydajniejsze promieniowanie płomienia.

Celem niniejszej pracy jest właśnie przedstawienie pewnej teoretycznej próby sformułowania metody optymalizacji wydajności promieniowania płomienia przy spalaniu paliwa gazowego zawierającego między innymi ciężkie węglowodory, które przy pewnym postępowaniu umożliwiają większe lub mniejsze świecenie płomienia. Przykładem takich paliw gazowych może być gaz ziemny lub koksowniczy. Oczywiście z rozważań wyłączyć należy taki gaz jak np. wielkopiecowy, w którym składnikiem palnym jest praktycznie tylko CO.

W przeprowadzonych tu rozważaniach przyjmuje się, że wchodzące w grę paliwo gazowe spalane jest za pomocą palnika dyfuzyjno-kinetycznego o określonej konstrukcji, w którym ilość pierwotnego powietrza w mieszance palnej powstającej w palniku jest możliwa do regulacji w szerokim zakresie. Stosunek λ' nadmiaru pierwotnego powietrza może więc zmieniać się w zakresie od zera do wartości λ oznaczającej stosunek nadmiaru całej ilości powietrza, $(0<\lambda'<\lambda)$. Powstający płomień rozwija się swobodnie w przestrzeni otoczonej ścianą (rys. 1).



Rys. 1. Swobodny płomień

Rozważania można oprzeć na pewnych założeniach upraszczających. Powierzchnia ściany otaczającej jest izotermiczna i jej temperatura wynosi T_s = idem. Powierzchnia ta odznacza się również jednorodną emisyjnością ε_s = = idem. Dla orientacyjnego określenia strumienia ciepła $\dot{Q}$ odpływającego z płomienia przez promieniowanie można by w rozważaniach wyobrazić sobie płomień jako pewną na ogół wypukłą bryłę gazową, której pole zewnętrznej powierzchni wynosi A_p, temperatura tej bryły ma wartość T_p, emisyjność płomienia zaś jest równa ε_p. Wielkość $\dot{Q}$ można by przedstawić przybliżonym wzorem dającym tym dokładniejsze wyniki im wartości emisyjności są bardziej zbliżone do jedności

$$\dot{Q} = A_p \ \varepsilon_p \ \varepsilon_s \ C_c(T_p^4 - T_s^4), \tag{1}$$

gdzie

C_c - stała promieniowania ciała doskonale czarnego.

Wzór (1) rozumie się jako funkcję typu

$$\dot{Q} = f(A_p, \varepsilon_p, T_p), \tag{2}$$

a więc oznacza to, że wydajność promieniowania płomienia w przestrzeni ograniczonej ścianą o określonych parametrach (T_s, ε_s) zależy od trzech wielkości: A_p, ε_p i T_p.

W całym obszarze płomienia występuje zróżnicowany rozkład temperatury i dlatego wartość T_p należałoby rozumieć jako pewną znamienną dla obszaru wartość skuteczną pod względem temperatury. Sposób określenia tej wartości jest niezbyt oczywisty choć istnienie takiego pojęcia jest łatwo odczuwalne. Temperatura T_p zależy wyraźnie od zdolności płomienia do promieniowania i im bardziej świecący jest płomień, tym temperatura ta jest mniejsza na skutek intensywniejszego odpływu ciepła przez promieniowanie płomienia. Świecenie płomienia natomiast jest tym wydatniejsze. im spalanie ma charakter bardziej dyfuzyjny, a tym samym im wartość λ' stosunku nadmiaru pierwotnego powietrza jest mniejsza. Można więc stwierdzić że

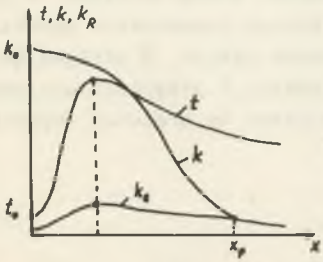
$$T_p = f(\lambda'). \tag{3}$$

Podobnie jest z emisyjnością płomienia. Przez wartość ε_p rozumie się pewną średnią skuteczną emisyjność zależną od wielu czynników, ale ogólnie tym większą, im bardziej dyfuzyjny charakter ma spalanie, a więc

$$\varepsilon_p = f(\lambda'). \tag{4}$$

Pole A_p zewnętrznej powierzchni płomienia można określić dopiero wówczas, gdy określony jest kształt obszaru wypełnionego przez płomień. Można przyjąć, że przez płomień rozumie się obszar, w którym zachodzą reakcje spalania. W takim razie granicą obszaru płomienia będzie powierzchnia przechodząca przez punkty, w których stopień wypalenia paliwa równy jest jedności, czyli 100%. Nie oznacza to jednak, że w punktach tych nie mogą wystąpić żadne składniki palne jak np. CO lub H_2. Składniki takie mogą wystąpić, lecz w koncentracji nie większej niż wynika to z równowagi chemicznej dla rozważanego punktu przy temperaturze tam występującej. Teoretycznie bowiem nie jest możliwe przecież zupełne spalenie paliwa, a praktycznie bardzo małe ilości palnych składników i to tym mniejsze, im mniejsza jest temperatura, wystąpią zawsze w wyniku określonej równowagi chemicznej.

Zagadnienie granicy obszaru płomienia można by wyjaśnić schematycznie za pomocą rysunku 2. Założono, że poza obszarem płomienia skład chemiczny gazu odpowiada dokładnie składowi w stanie równowagi chemicznej określonemu dla temperatury tego gazu. Przez x oznaczono odległość rozważanego punktu od środka pola przekroju wylotowego palnika. Temperatura t gazu od jakiejś wartości t_o temperatury mieszanki palnej w przekroju wylotowym zwiększa się w miarę wzrostu x, przechodzi przez maksimum i na końcu zmniejsza się. Koncentracja k składników palnych (np. CO, H_2, CH_4) od początkowej wartości k_o dla mieszanki palnej w przekroju wylotowym, zmniejsza się początkowo nieznacznie bądź na skutek niezbyt dużej temperatury i wynikającej stąd niezbyt dużej szybkości reakcji chemicznych, bądź też na skutek ewentualnego początkowego niedoboru tlenu do spalania. Potem jednak koncentracja ta szybko zmniejsza się i w odległości x_p zaczyna wspólnie przebiegać z wykresem obliczeniowej koncentracji k_R składników palnych wynikającej ze stanu równowagi chemicznej dla odpowiedniej temperatury.



Rys. 2. Przebieg zmiany temperatury i koncentracji składników palnych

Zbiór punktów odległych o x_p, (por. również rys. 1), przy różnych kierunkach osi x zmieniających się w obrębie kąta bryłowego 2π tworzy więc powierzchnię obszaru płomienia. Stopień s wypalenia paliwa można by zdefiniować następująco:

$$s = \left(\frac{k_o - k}{k_o - k_R}\right)_t . \tag{5}$$

Wielkość k i k_R należałoby rozważać dla tej samej temperatury t gazu. Dla przekroju wylotowego mieszanki ($x = 0$) koncentracja $k = k_o$ i stopień wypalenia $s_o = 0$. Na granicy obszaru płomienia ($x = x_p$) koncentracja $k = k_R$ i otrzymuje się $s_p = 1$.

Określone w ten sposób pole A_p powierzchni płomienia jest tym większe, im bardziej dyfuzyjny charakter ma spalanie, a więc

$$A_p = f(\lambda'). \tag{6}$$

Miganie płomienia można uwzględnić przez interpretację wielkości A_p jako statystycznej średniej. Jeżeli uwzględni się funkcje (3), (4) i (6) w zależności (2), to otrzymuje się funkcję typu

$$\dot{Q} = f(\lambda') \tag{7}$$

co oznacza, że wydajność promieniowania płomienia, przy określonym rodzaju palnika i przy niezmienionych parametrach ściany otaczającej płomień, zależy od charakteru procesu spalania określonego przez wartość stosunku nadmiaru pierwotnego powietrza. Stwierdzenie to oczywiście nie jest czymś nowym i z praktyki wynika ono już dawno. Przeprowadzone tu jednak wywody mogą być podstawą do teoretycznego ujęcia zagadnienia określania optymalnej wartości λ'_{opt}, dla której strumień ciepła $\dot{Q}$ odpływającego z płomienia przez promieniowanie jest największy. W przypadku znajomości konkretnej postaci funkcji (7) wartość taką można by próbować określić z warunku

$$\frac{\partial \dot{Q}}{\partial \lambda'} = 0. \tag{8}$$

Badania zmierzające do określenia optymalnej wartości λ' można by prowadzić bądź przez wyprowadzenie konkretnych postaci funkcji (3), (4) i (6) na drodze rozważań teoretycznych lub w oparciu o odpowiednio zorganizowane doświadczenia, bądź też bezpośrednio przez nadanie konkretnej postaci funkcji (2) również na drodze teoretycznej lub doświadczalnej.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПОПЫТКА ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАМЕНИ.

Резюме

Для данного типа кинетично-диффузионной горелки указана зависимость определения величины коэффициента избытка первичного воздуха при максималь

ном излучении пламени до определённой стены. Эта величина зависит не только от температуры и степени черноты пламени, но также от поля поверхности пламени. Зону пространства пламени предложено определить с помощью степени выгорания топлива, определённого по формуле (5).

THEORETICAL ATTEMPT TO FORMULATE AN OPTIMIZATION METHOD OF FLAME RADIATION

S u m m a r y

For a given type of the kinetic-diffussion burner it was found the possibility of primary air excess, determination at which the flame radiation to a given wall achieves its maximum. Such an excess depends not only on flame temperature and emissivity, but also on the area of flame surface. The author proposes in the paper the determination of the flame area boundary by means of the fuel burning out degree, defined by formula (5).