

RYSZARD PRTELA
Katedra Podstaw Techniki Ciepłej

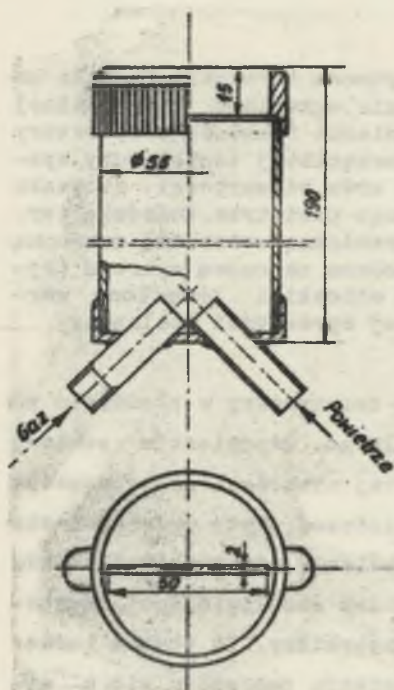
JERZY HOŁOJDA
MONTOCHEM - Gliwice

WPIĘW PODGRZEWANIA SUBSTRATÓW SPALANIA NA TEMPERATURE PŁONIEŃIA

Streszczenie. Za pomocą termopary Pt-PtRh zanurzonej w płomieniu określano w podłużnej osi pionowego płomienia rozkłady temperatury w zależności od początkowej temperatury spalanych substratów oraz od wartości stosunku nadmiaru pierwotnego powietrza. Końcówkę termopary pokryto ceramiczną warstewką ochronną. Wyniki pomiarów podano zapomocą wykresu (rysunek 5). Wysznuo wnioski i określono wartość pirometrycznej sprawności spalania.

Celem badań było określenie rozkładu temperatury w płomieniu palącej się mieszanki powietrza i gazu palnego. Odpowiednie pomiary realizowano przy zmiennej temperaturze tej mieszanki na doprowadzeniu do palnika. Do przeprowadzenia doświadczeń użyto prostej instalacji badawczej [2] pozwalającej na określenie strumienia i składu chemicznego spalanej mieszanki, jak również umożliwiającej podgrzanie powietrza spalania do określonej temperatury. Za pomocą termopary Pt-PtRh mierzono temperaturę w płomieniu tworzącym się u wylotu pionowo usytuowanego palnika przedstawionego na rysunku 1. Płomień rozwijał się w powietrzu wypełniającym pomieszczenie laboratoryjne. Wysokość dyszy palnika wynosi 15 mm. Kształt powierzchni poprzecznego przekroju wylotowego palnika przyjęto prostokątny [3] o wymiarach 50 x 2 mm. W uzyskanym w ten sposób płaskim płomieniu łatwiej jest wyznaczyć przebieg izoterm. Termoparę o średnicy drucików 0,35 mm, zanurzoną w określonym miejscu płomienia

podtrzymywano za pomocą statywu. Przewody termopary osłonięte były ceramiczną rurką, końcówka zaś termopary była przed każdą serią pomiarów powlekana cienką warstewką ceramiczną dla wyeliminowania wpływu ciepłych efektów reakcji chemicznych na powierzchni odsłoniętej końcówki, zanurzonej w spalinach o wysokiej temperaturze. Sposób powlekania końcówki warstewką ceramiczną przy użyciu oleju silikonowego w płomieniu palnika Bunsena oparto na metodach podanych w literaturze [1].



Rys. 1. Palnik



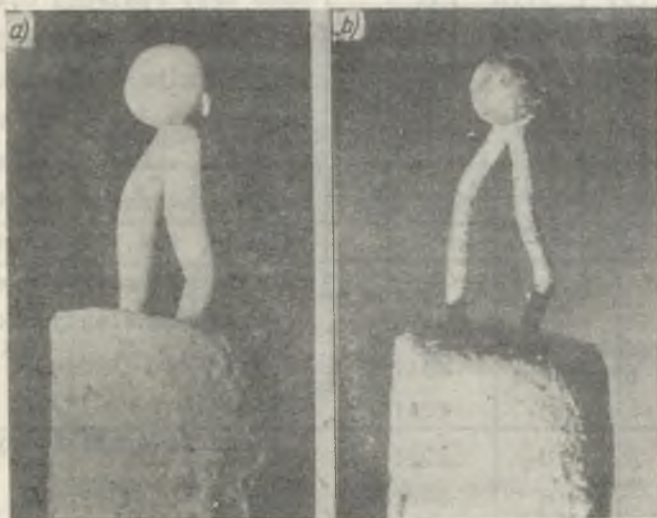
Rys. 2. Powlekanie termopary warstewką ceramiczną

Na rysunku 2 pokazano w trzykrotnym powiększeniu pokrywanie drucików termopary powłoką ochronną w chwili początkowej. Fotografię wykonano przy działającym palniku, widać więc płomień, rozszerzoną końcówkę termopary i wyraźnie odróżniającą się od płomienia świecąca smużkę palącego się oleju silikonowego. Olej ten wypływający

z rurki pod ciśnieniem 1,2 bar nie zapala się od razu, lecz w odległości około 2 mm od wylotu rurki. Grubość powłoczki pokrywającej termoparę można regulować przez dłuższe lub krótsze przetrzymywanie danego fragmentu końcówki termopary nad wylotem rurki doprowadzającej olej silikonowy. Stwierdzono, że powłoczka pokrywająca termoparę nie jest zbyt trwała i można ją łatwo usunąć za pomocą np. pędzelka.

Warstewka ochronna termopary przebywającej w płomieniu wymaga co pewien czas regeneracji. W miarę upływu czasu przebywania w płomieniu powłoczka termopary zanika. Jednorazowe pokrycie termopary powłózką pozwala na około 20 minutowe przebywanie jej w płomieniu.

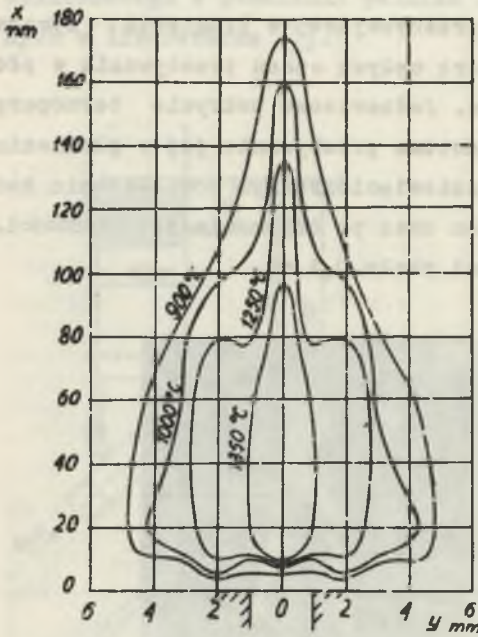
Na rysunku 3 przedstawiono w dziesięciokrotnym powiększeniu końcówkę termopary przed powleczeniem oraz po dokonaniu tej czynności. Grubość warstewki ochronnej wynosi około 0,1 mm.



Rys. 3. Końcówki termopary

Badania przeprowadzono przy spalaniu gazu miejskiego, którego skład chemiczny określony jest udziałami molowymi: $\text{CO}_2 = 4\%$, $\text{C}_m\text{H}_n = 3,0\%$, $\text{O}_2 = 0,3\%$, $\text{CO} = 11,7\%$, $\text{H}_2 = 55,7\%$, $\text{CH}_4 = 23,4\%$ i $\text{N}_2 = 1,9\%$.

Kalorymetryczna temperatura spalania t_{kal} , tzn. temperatura spalania adiabatycznego, izobarycznego, zupełnego i całkowitego, takiego gazu miejskiego, przy stosunku λ nadmiaru powietrza równym jedności, ma wartość $t_{kal} = 2005, 2160$ i 2299 °C przy wartościach temperatury t_a powietrza do spalania wynoszących odpowiednio $t_a = 22, 230$ i 470 °C.



Rys. 4. Rozkład temperatur w płomieniu

Na rysunku 4 przedstawiono za pomocą izoterm przykład zmierzonego rozkładu temperatury w płaszczyźnie prostopadłej do dłuższego boku szczelinowego wylotu palnika (rys. 1) oraz przechodzącej przez podłużną oś strugi wypływającej mieszanki. Wykres ten otrzymano przy spalaniu $0,429$ m^3/h gazu miejskiego dopływającego do wylotu palnika w mieszance z powietrzem przy $\lambda = 1$ i temperaturze $t_a = 22$ °C. Przez x oznaczono odległość badanego punktu od wylotu palnika, zaś y oznacza odległość rozważanego punktu mierzona od cinkiem równoległym do płaszczyzny wylotu. Maksymalna temperatura występuje w podłużnej osi strugi i stosunkowo blisko wylotu palnika.

Badanie wpływu temperatury pierwotnego powietrza do spalania na temperaturę płomienia przeprowadzono przez pomiar temperatury w podłużnej osi płonącej strugi wypływającej z palnika. W badaniach uwzględniono również zmienną ilość tego powietrza, określaną przez stosunek λ w mieszance palnej dopływającej do wylotu palnika. Temperatura t_s płomienia w osi jego jest więc w tym przypadku funkcją odległości x badanego punktu od wylotu palnika mierzonej

wzdłuż osi strugi, temperatury t_a pierwotnego powietrza oraz stosunku λ nadmiaru powietrza pierwotnego

$$t_s = f(x, t_a, \lambda) \quad (1)$$

Strumień spalanego gazu miejskiego miał w czasie wykonywania wszystkich pomiarów stałą wartość wynoszącą $0,429 \text{ m}^3/\text{h}$.

Dla zbadania rozkładu temperatury w podłużnej osi płonącej strugi przeprowadzono pomiary dla czterech różnych wartości stosunku nadmiaru powietrza (tablica 1) oraz dla trzech różnych temperatur t_a powietrza tworzącego z gazem miejskim o temperaturze 22°C mieszankę palną. W tablicy 1 podano najważniejsze dane dotyczące przeprowadzonych pomiarów. Przez t' oznaczono temperaturę substratów, która ustala się po zmieszaniu podgrzanego powietrza z niepodgrzewanym gazem miejskim. Temperaturę tę określono w sposób obliczeniowy.

Tablica 1

Dane dotyczące serii pomiarów

λ	t_a	t'	t_{kal} $^\circ\text{C}$	$t_s \text{ max}$? pir %	Nr linii na wykresie (rys. 5)
0,9	22	22	2005	1390	68,9	1
1,0				1465	72,7	
1,05				1482	73,7	
1,15				1495	74,3	
0,9	230	188	2160	1545	68,7	3
1,0		192		1568	70,0	
1,05		194		1587	70,9	
1,15		196		1600	71,5	
0,9	470	379	2290	1565	61,8	5
1,0		387		1600	63,5	
1,05		391		1615	64,2	
1,15		395		1630	64,9	

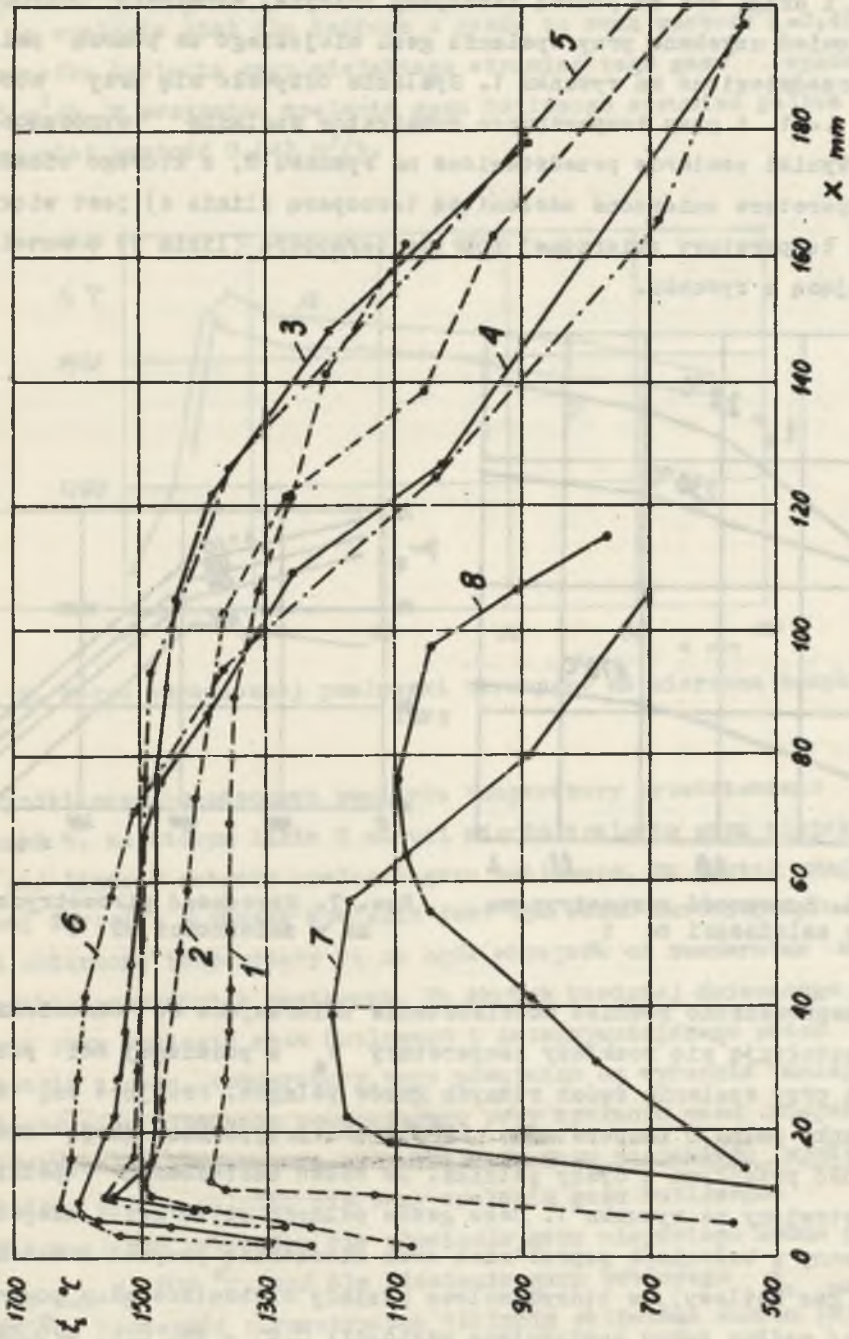
W praktyce stosuje się niekiedy pojęcie sprawności pirometrycznej spalania, przy określaniu której potrzebna jest wartość pewnej charakterystycznej, rzeczywistej temperatury występującej w płomieniu. Może nią być na przykład maksymalna temperatura $t_{s \max}$ występująca w podłużnej osi badanego płomienia. Zmierzone wartości takiej temperatury przy badanych przypadkach zestawiono w tabelicy 1. Sprawność pirometryczną spalania ρ_{pir} można wówczas obliczać następująco

$$\rho_{\text{pir}} = \frac{t_{s \max} - t'}{t_{\text{kal}} - t'} \quad (2)$$

W tabelicy 1 oprócz obliczonych wzorem (2) wartości ρ_{pir} podano również numery linii na wykresie (rys. 5) ilustrującym przykładowe wyniki pomiarów rozkładu temperatury w podłużnej osi płomienia.

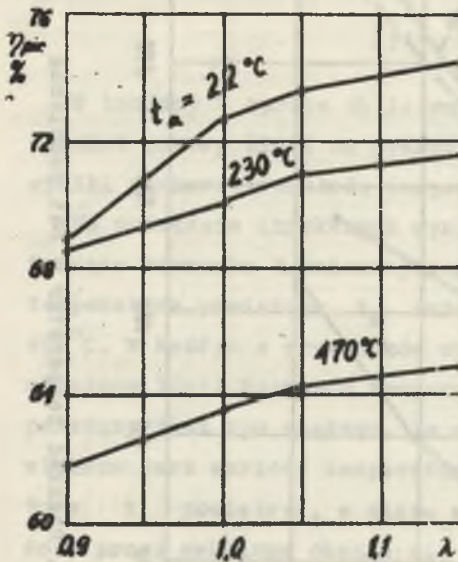
Na podstawie uzyskanych wyników można wysnuć wnioski. Wyniki dotyczące stosunku λ zmieniającego się w zakresie od 0,9 do 1,15 oraz temperatura powietrza t_a zmieniającej się w granicach od 22 do 470°C. W każdym z przypadków występuje w odległości około $x=10$ mm maksimum linii rozkładu temperatury. Wartość tej maksymalnej temperatury jest tym większa, im większa jest wartość stosunku λ i im większa jest wartość temperatury powietrza t_a . Dla danej temperatury t_a powietrza, w miarę wzrostu x , temperatura t_s po przejściu przez maksimum obniża się tym znacznie, im większa jest wartość stosunku λ nadmiaru pierwotnego powietrza. Wartości sprawności pirometrycznej podane w tabelicy 1 przedstawiono wykreślnie na rysunkach 6 i 7. Z rysunków tych wynika, że przy stałej wartości stosunku nadmiaru powietrza sprawność pirometryczna jest tym większa, im mniejszą temperaturę mają substraty spalania. Natomiast przy stałej temperaturze substratów spalania sprawność ta jest tym większa, im większa jest wartość stosunku nadmiaru powietrza.

Dla zbadania wpływu obecności ceramicznej warstewki ochronnej pokrywającej końcówkę termopary na wyniki przeprowadzonych pomiarów wykonano dodatkowe badanie. Rozkład temperatury w podłużnej osi tego samego płomienia zmierzono raz za pomocą termopary odsłó-

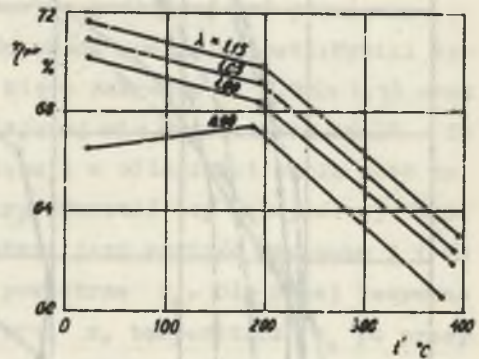


Rys. 5. Rozkład temperatur w osi płomienia

niętej i drugi raz za pomocą termopary pokrytej warstwą ochronną. Płomień uzyskano przy spalaniu gazu miejskiego za pomocą palnika przedstawiono na rysunku 1. Spalanie odbywało się przy stosunku $\lambda = 1$ i przy temperaturze substratów spalania wynoszącej 22°C . Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 8, z którego widać, że temperatura zmierzona odsłoniętą termoparą (linia a) jest większa od temperatury zmierzonej pokrytą termoparą (linia b) o wartość wynikającą z rysunku.



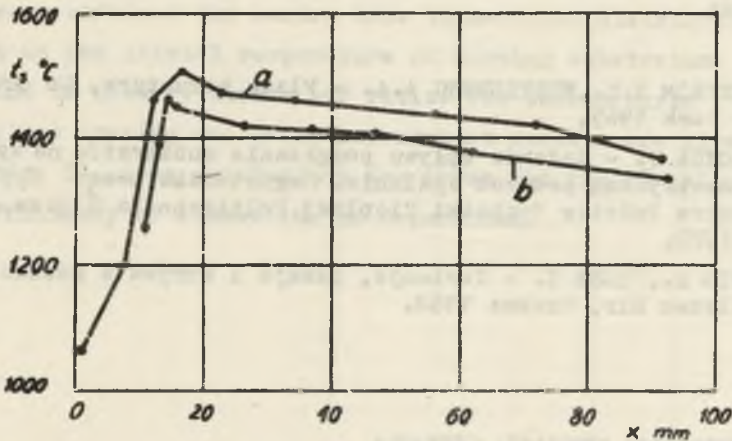
Rys. 6. Sprawność pirometryczna w zależności od t_a



Rys. 7. Sprawność pirometryczna w zależności od t'

Przeprowadzono również doświadczenie zmierzające do określenia jak kształtują się rozkłady temperatury t_s w podłużnej osi płomienia przy spalaniu dwóch różnych gazów palnych. Przyjęto tu, że mieszanka palna o temperaturze 22°C w obu przypadkach ma tę samą prędkość przepływu z dyszy palnika. Do badań zastosowano palnik przedstawiony na rysunku 1. Jako gazów palnych użyto gaz miejski stosowany w badaniach poprzednich oraz mieszaninę propanu i butanu (tzw. gaz butlowy), w którym molowe udziały składników gazu powinny mieć według normy następujące wartości: $\text{C}_2\text{H}_6 = 4\%$, $\text{C}_3\text{H}_8 = 29,5\%$,

$C_4H_{10} = 66,0\%$ i $C_5H_{12} = 0,5\%$. Stosunek nadmiaru pierwotnego powietrza do spalania miał dla każdego z gazów tę samą wartość $\lambda = 0,475$. W przypadku spalania gazu miejskiego strumień tego gazu wynosił $0,185 \text{ m}^3/\text{h}$. W przypadku spalania gazu butlowego strumień paliwa gazowego miał wartość $0,042 \text{ m}^3/\text{h}$.



Rys. 8. Wpływ ceramicznej powłoczki termopary na mierzoną temperaturę

Wyniki przeprowadzonych pomiarów temperatury przedstawiono na rysunku 5, na którym linia 7 odnosi się do spalania gazu miejskiego, zaś linia 8 dotyczy spalania gazu butlowego. Na skutek zmniejszonej wartości λ obszar spalania jest tym razem bardziej dyfuzyjny i zmierzone temperatury są na ogół mniejsze od temperatur mierzonych w poprzednich pomiarach. Na skutek bardziej świecącego płomienia przy spalaniu gazu butlowego i intensywniejszego przez to oddawania ciepła, temperatury tego płomienia są wyraźnie mniejsze od temperatur płomienia powstającego przy spalaniu gazu miejskiego. Maksymalna temperatura przy spalaniu gazu miejskiego występuje bliżej wylotu palnika niż przy spalaniu gazu butlowego.

W rozważanym przypadku dla płomienia gazu miejskiego można przyjąć $t_{s \text{ max}} = 1200^\circ\text{C}$, zaś dla płomienia gazu butlowego $t_{s \text{ max}} = 1095^\circ\text{C}$. Sprawność pirometryczna spalania obliczona wzorem (2) na

wartość 59,4 % dla gazu miejskiego oraz 49,9% dla gazu butlowego ($t_{kal} = 2177^{\circ}\text{C}$).

LITERATURA

- [1] FRISTROM R.M., WESTENBERG A.A. - Flame structure, Mc Graw-Hill, New York 1965.
- [2] HOŁOJDA J. - Badanie wpływu podgrzania substratów na sprawność pirometryczną procesu spalania. Magisterska praca dyplomowa, Katedra Podstaw Techniki Ciepłej Politechnika Śląska, Gliwice 1970.
- [3] LEWIS B., ELBE G. - Горение, пламя и взрывы в газах. Издательство Mir, Москва 1968.

ВЛИЯНИЕ ПОДГРЕВА СУБСТРАТА СГОРАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАМЕНИ

Резюме

При помощи термопары Pt-PtRh погруженной в пламени определено в продольной оси вертикального пламени разложение температур в зависимости от начальной температуры сжигаемых субстратов, а также от значения соотношения избытка гервичного воздуха. Окончание термопары покрыто керамическим защитным слоем.

Результаты измерений представлено в виде графика (рис. 5). сделано выводы и определено значение пиromетрического к.п.д. сжигания.

INFLUENCE OF HEATING OF THE COMBUSTION SUBSTRATUMS ON THE FLAME TEMPERATURE

S u m m a r y

By means of the Pt - PtRh thermocouple immersed in the flame, there were examined the centre line temperature distributions, depending on the initial temperature of burning substratums and on the value of primary excess air ratio. The thermocouple junction with silica coating was used. Measurement results are given by diagram (Fig. 5). Some conclusions are drawn and the so called pyrometric efficiency of combustion is determined.