

Lech SZECÓWKA

Henryk RADOMIAK

Politechnika Częstochowska

WPLYW ZABURZEŃ ZEWNĘTRZNYCH NA DROGĘ MIESZANIA SIĘ SUBSTRATÓW GAZOWYCH I KONFIGURACJĘ STRUGI^{x)}

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki eksperymentów przeprowadzonych na stanowisku doświadczalnym z zastosowaniem aparatu smugowego i rejestracji filmowej. Przedmiotem badań było wzajemne oddziaływanie współbieżnych strug gazowych: powietrza i dwutlenku węgla. Zaburzeniom o charakterze pulsacyjnym poddawano strugę powietrza. Wyniki badań wykazały istotny wpływ parametrów zaburzenia na drogę mieszania się i konfigurację strugi. Na podstawie wyników badań zbudowano palnik gazowy o dużych walorach eksploatacyjnych.

1. WPROWADZENIE

Spalanie jest jednym z najczęściej wykorzystywanych w technice procesów cieplnych. Podstawowym zadaniem procesów spalania jest otrzymanie odpowiedniej ilości i jakości energii dla celów technologicznych i grzewczych. Stąd potrzeba lepszego poznania i doskonalenia organizacji procesów spalania, pojmowanych jako funkcja rodzaju paliwa, wymaganej intensywności reakcji spalania, końcowej temperatury spalin oraz ich przeznaczenia.

Konieczne jest ze względów ekonomicznych i technicznych podwyższanie parametrów istniejących urządzeń cieplnych, doskonalenie ich eksploatacji, podwyższanie trwałości i precyzji działania, a także budowa nowych wysokosprawnych układów. Istnieje coraz silniejsza tendencja zwiększania jednostkowego obciążenia cieplnego urządzeń, projektowania odpowiedniej geometrii przestrzeni roboczej, w której przebiega proces, bezpośrednio związanej z rozkładem strug gorących gazów, koncentracji, temperatury i prędkości.

^{x)} Praca wykonana w ramach CPBP nr 02.18, kierunek 2, zad. 2.1.3.9.

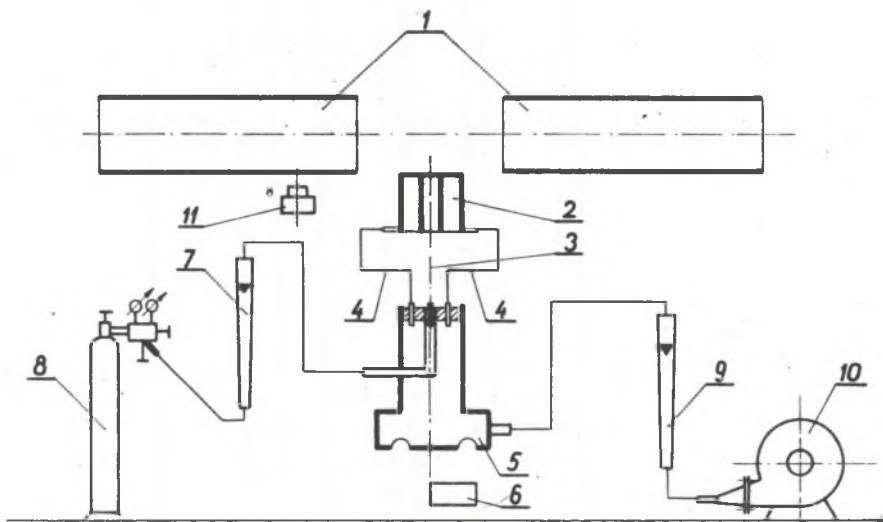
Istnieje szereg sposobów intensyfikacji procesu spalania. Jednym z nich jest dobre wymieszanie substratów. Można to między innymi zrealizować przez zwiększenie turbulencji strug oraz dodatkowe oddziaływanie zaburzeń zewnętrznych. Metoda ta znajduje coraz większe zastosowanie tak w laboratoriach, jak i w przemyśle.

Przedstawione opracowanie dotyczy wpływu i efektów oddziaływania zaburzeń zewnętrznych na drogę mieszania się strug gazowych substratów.

2. DOŚWIADCZENIA

2.1. Stanowisko doświadczalne

Badania drogi mieszania się strug gazowych przeprowadzono na stanowisku doświadczalnym przedstawionym na rys. 1.

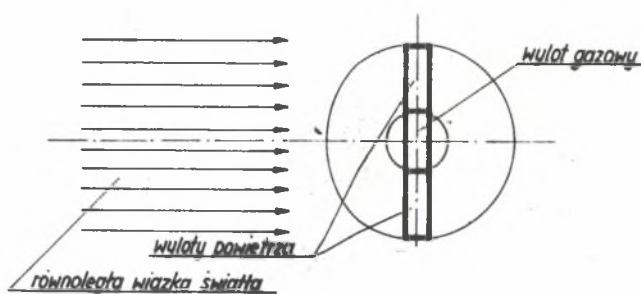


Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

1 - aparat smugowy (tuby) IAB 451, 2 - dysze wylotowe, 3 - przewód gazowy, 4 - przewody powietrza, 5 - membrana rezonatora, 6 - rezonator, 7 - rotametr gazowy, 8 - zbiornik CO₂, 9 - rotametr powietrzny, 10 - wentylator, 11 - kamera filmowa Pentaflex AK 16

Fig. 1. Diagram of a test stand

1 - IAB 451 streak apparatus (tubes), 2 - outlet nozzles, 3 - gas pipe, 4 - air pipes, 5 - resonator membrane, 6 - resonator, 7 - gas rotameter, 8 - CO₂ container, 9 - air rotameter, 10 - fan, 11 - Pentaflex AK 16 film camera



Rys. 2. Idea doboru dysz gazowych
Fig. 2. Idea of the selection of gas nozzles

Zasadniczym elementem stanowiska jest aparat smugowy typu IAB 351 służący do wizualizacji strugi. Istota działania aparatu polega na wykorzystaniu różnic gęstości w przezroczystym ośrodku, przez który przechodzi równoległa wiązka światła. Pomiedzy dwoma tubami aparatu smugowego umieszczono gazową dyszę wylotową. Kanałami zewnętrznymi doprowadzano do dyszy z rezonatora powietrze, zaburzone drganiem o określonej częstotliwości i amplitudzie. Kanałem środkowym doprowadzano gaz modelujący (CO_2). Zastosowanie dwutlenku węgla spełnia warunek gradientu gęstości względem powietrza ($\text{grad } \rho > 0,07 \text{ kg/m}^3$). Aby w pełni wykorzystać możliwości aparatu smugowego, dyszę wylotową ukształtowano w odmienny sposób, niż ma to miejsce w rzeczywistych palnikach. Zamiast przewodów koncentrycznych wykonano dyszę składającą się z trzech przewodów o prostopadłościennym wylocie. Stanowi to wycinek przekroju palnika.

Zastosowanie dysz prostokątnych daje lepsze rozgraniczenie współbieżnych warstw strugi oraz lepszą ich przejrzystość. Przyjęty kształt wylotu umożliwia obserwację rozwoju warstw granicznych, decydujących o procesach zmiany turbulencji.

2.2. Warunki prowadzenia eksperymentu

Badania prowadzono przy różnych parametrach wypływowych strug i zaburzeniach. Wykonano serie pomiarowe dla liczby Reynoldsa gazu (CO_2) wynoszącej $R = 2000, 5000, 7500, 10000, 15000$. Zaburzenia powietrza wywoływano rezonatorem. Wartość amplitudy drgań wynosiła $A = 2,5; 5,0; 7,5 \text{ mm}$, a częstotliwość $f = 15, 25, 30, 40, 75 \text{ Hz}$. Wpływem wzorcowym dla każdej serii był wpływ o ustalonej liczbie Reynoldsa i nie poddany zaburzeniom. Stosunek strumienia objętościowego powietrza do strumienia dwutlenku węgla był stały i tak dobrany, aby odpowiadał stechiometrycznym warunkom spalania ($\alpha = 1$) gazu koksowniczego w powietrzu.

Poszczególne serie pomiarowe (75 serii) filmowano za pomocą kamery typu Pentaflex AK 16 z szybkością 100 klatek na sekundę na błonie filmowej UP 27.

Z przyjętych założeń eksperymentu wynika, że stosunek strumienia powietrza do gazu $\frac{\dot{V}_D}{\dot{V}_G} = 4$, stosunek prędkości $\frac{W_D}{W_G} = 2$, a stosunek impulsów

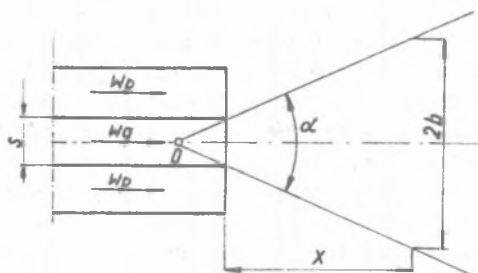
$\frac{I_D}{I_G} \approx 5$ dla całego badanego zakresu.

Wobec dużej różnorodności eksperymentów dotyczących aerodynamiki strug przyjęto w celu łatwiejszego i bardziej przejrzystego porównania wartości względne parametrów charakteryzujących strugę:

$\frac{L}{L_0}$ względna długość drogi mieszania się strug gazowych,

$\frac{\alpha}{\alpha_0}$ względny kąt rozprzestrzeniania się strugi,

$\frac{C}{C_0}$ względny współczynnik intensywności turbulencji.



Rys. 3. Schemat określania kąta rozwartości strugi

s - szerokość dyszy gazowej, x - odległość od wylotu z dyszy, 2b - szerokość strugi

Fig. 3. Diagram of the stream divergence angle determination

s - gas nozzle width, x - distance from the nozzle outlet, 2b - stream width

Za długość drogi mieszania L uważano długość jasnego odcinka strugi (rysunek 3) od wylotu z dyszy do miejsca, w którym istnieje wyraźny kontrast między jasną (gęstą optycznie) strugą dwutlenku węgla a otaczającym powietrzem.

Kąt rozwarcia strugi α określano wg zależności (rys. 3):

$$\alpha = 2 \arctg \frac{2b - s}{2x} ,$$

zaś współczynnik intensywności turbulencji C ze wzoru:

$$\frac{b}{x} = c \frac{|W_g - W_p|}{|W_g + W_p|} ; \quad \text{dla } \frac{W_p}{W_g} = 2$$

$$c \text{ przyjmuje wartość } c = \frac{3b}{x} .$$

3. WYNIKI I Dyskusja

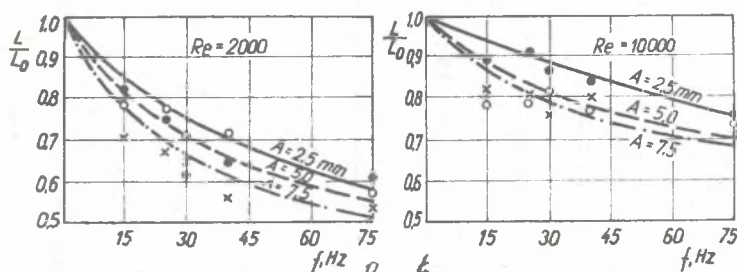
Zastosowanie cieniowej techniki badawczej i rejestracja obrazów na taśmie filmowej pozwoliły na dokładną analizę zjawisk. Otrzymane z doświadczeń wyniki stanowią podstawę do dokonania jakościowej oraz ilościowej analizy zjawiska rozprzestrzeniania się strugi we współbieżnym ośrodku, przy oddziaływaniu na strugę zewnętrznych, pulsacyjnych, harmonicznym zaburzeń.

Zastosowany symetryczny układ dysz pozwolił na dokładniejszą obserwację niż układ współśrodkowy.

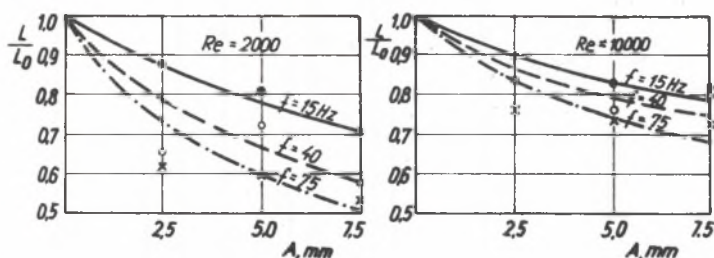
Badana struga zachowuje się jak struga współbieżna. Jej początkowy odcinek jest równoległy do kierunku wypływu. Natomiast jej granice zaczynają się rozszerzać w pewnej odległości od wylotu, szybko przechodząc w obszar o dużej jednorodności składników, dobrze wymieszanych.

Wykresy zmian drogi mieszania w funkcji częstotliwości mają podobny charakter przy różnych wartościach amplitudy (rys. 4). Opisano je funkcjami wykładniczymi o charakterze malejącym.

Widać, że $\frac{L}{L_0}$ dąży do pewnej granicznej wartości dla danej intensywności zaburzenia. Zauważono, że wzrost amplitudy powoduje skrócenie drogi mieszania dla stałej częstotliwości zaburzenia (rys. 4, 5).



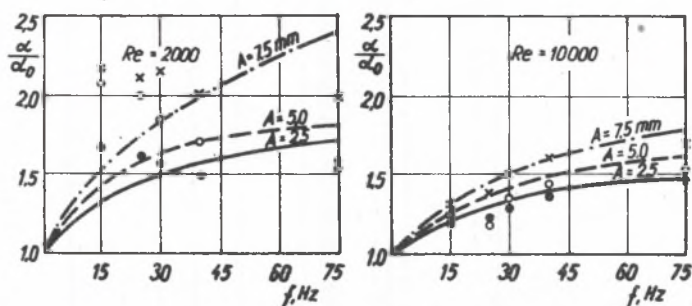
Rys. 4. Zależność drogi mieszania od częstotliwości zaburzenia
Fig. 4. Dependence of the mixing path on the disturbance frequency



Rys. 5. Zależność drogi mieszania od amplitudy zaburzenia
Fig. 5. Dependence of the mixing path on the disturbance amplitude

Również częstotliwość zaburzenia wpływa na zmianę drogi mieszania. Stwierdzono większy wpływ amplitudy niż częstotliwości na skrócenie drogi mieszania. Wynika to również z porównania równań regresji (tabl. 1). Wartości współczynników równań opisujących zależność $\frac{L}{L_0} = f(A)$ są prawie o jeden rząd większe od współczynników opisujących zależność $\frac{L}{L_0} = f(f)$. Charakter tych zależności wynika z faktu, że zmiany amplitudy dają większe zmiany energii zaburzenia w stosunku do energii kinetycznej strugi. Amplituda wpływa na zwiększenie obszaru zaburzeń, częstotliwość zaś powoduje rozdrobnienie turbulizowanej strugi. W obydwu przypadkach większe zmiany $\frac{L}{L_0}$ następują dla wypływów o mniejszej energii (w warunkach doświadczenia dla mniejszych R_0).

Podobną prawidłowość wykazują zależności kąta rozwarcia strugi (rys. 6). Dla wypływów niezaburzonych kąt rozwarcia nieznacznie się zmienia i jest typowy dla wypływów z dysz bez oderwania, tzn. mieści się w przedziale $8-12^\circ$. Turbulizacja zewnętrzna powoduje duży wzrost tego kąta.

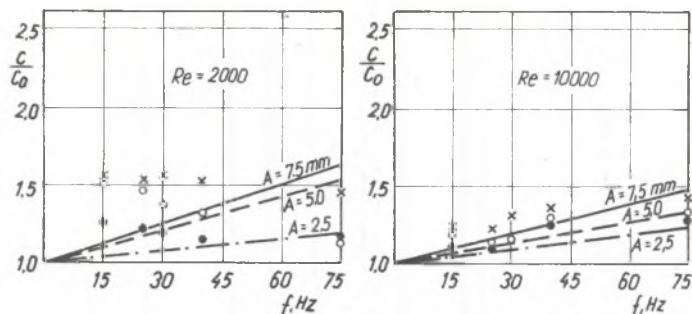


Rys. 6. Zależność kąta rozwarcia strugi od częstotliwości zaburzenia
Fig. 6. Dependence of the turbulence intensity coefficient on the disturbance frequency

Tablica 1

Zestawienie równań i współczynników aproksymacji

Postać funkcji $\frac{I}{I_0} = e^p \cdot e^{rf}$ (rys. 4)		Postać funkcji $\frac{dI}{I_0} = e^p \cdot e^{rf}$ (rys. 6)	
Re	A [mm]	p	r
	2,5	-0,1145	-0,0065
2000	5,0	-0,0593	-0,0067
	7,5	-0,1660	-0,0074
	2,5	-0,0110	-0,0040
10 000	5,0	-0,1164	-0,0032
	7,5	-0,0094	-0,0034
Postać funkcji $\frac{I}{I_0} = e^p \cdot e^{rA}$ (rys. 5)		Postać funkcji $\frac{dI}{I_0} = p + rf$ (rys. 7)	
Re	f [Hz]	Re	A [mm]
	15	-0,0067	2,5
2000	40	-0,0092	5,0
	75	-0,1290	7,5
	15	-0,0318	2,5
10000	40	-0,0526	5,0
	75	-0,0756	7,5
			p
			r
			p
			r



Rys. 7. Zależność współczynnika intensywności turbulencji od częstotliwości zaburzenia

Fig. 7. Dependence of the turbulence intensity coefficient on the disturbance frequency

Współczynnik intensywności turbulencji strugi nawet dla wypływu bez zaburzeń jest nieco większy od podawanego w literaturze. Jest to spowodowane znacznym uderzeniem dynamicznym strug oraz warstwy otaczającego powietrza. Podczas zaburzania strugi wartość $\frac{C}{C_0}$ wzrasta proporcjonalnie do amplitudy i częstotliwości drgania (rys. 7). Doświadczalne wartości ukazują bardziej skomplikowany przebieg zależności $\frac{C}{C_0} = f(f)$ niż przyjęta funkcja liniowa. Mimo iż stosunek pędów strug jest stały, ich bezwzględne wartości zmieniają się. Występujący stosunek prędkości $\frac{v}{v_0} = 2$ jest wysoki, powodując silne oddziaływanie w kierunku zmniejszenia ekspansji strugi CO_2 , szczególnie jej zewnętrznych krawędzi, tzw. warstwy mieszania.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji można stwierdzić, że bardzo istotny jest dobór dla danego urządzenia częstotliwości i amplitudy zaburzenia, aby intensywność mieszania dawała jak największy efekt.

Zbudowany na podstawie powyższych zaleceń palnik pozwalał prowadzić spalanie w sposób kontrolowany z możliwością oddziaływania na długość i szerokość płomienia. Badania tego palnika są tematem oddzielnej pracy.

4. STWIERDZENIA KOŃCOWE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji, pomiarów i obliczeń, sformułowano następujące wnioski:

1. W miarę zwiększania intensywności zaburzenia droga mieszania substratów ulega skróceniu.
2. Stwierdzono większy wpływ amplitudy niż częstotliwości zaburzenia na skrócenie drogi mieszania.

3. Wraz ze wzrostem energii zaburzania wzrasta kąt rozwarcia strugi.
4. Współczynnik intensywności turbulencji strugi rośnie proporcjonalnie do częstotliwości i amplitudy zaburzania.
5. Wpływ zewnętrznych zaburzeń strugi maleje ze wzrostem liczby Reynoldsa.

LITERATURA

- [1] Abramowicz G.N.: Příkladnaja gazowaja dinamika. Izd. Nauka, Moskwa 1968.
- [2] Abramowicz G.N.: Teorija turbulentnych struj. Izd. Nauka, Moskwa 1984.
- [3] Abramowicz G.N.: Turbulentnoje smieszenije gazowych struj. Izd. Nauka, Moskwa 1974.
- [4] Bobrowski D.: Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. WNT, Warszawa 1980.
- [5] Duckworth R.A.: Mechanika płynów. WNT, Warszawa 1983.
- [6] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki. WNT, Warszawa 1986.
- [7] Instrukcja obsługi aparatu cieniowego IAB 451.
- [8] Kozarski M., Szumak Z.: Minikalkulatory w obliczeniach naukowych i technicznych. WNT, Warszawa 1980.
- [9] Petela R.: Paliwa i ich spalanie. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 1982.
- [10] Senkara T.: Obliczenia cieplne pieców grzewczych w hutnictwie. Wyd. "Śląsk", Katowice 1981.
- [11] Wójcicki S.: Spalanie. WNT, Warszawa 1969.
- [12] Zieleniewski R., Kozakiewicz A.: Aparaty i urządzenia gazowe, Wyd. Arkady, Warszawa 1981.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ПУТЬ СМЕШИВАНИЯ ГАЗОВЫХ СУБСТРАТОВ И КОНФИГУРАЦИЮ СТРУИ

Резюме

В статье представлены результаты экспериментов проведенных на опытном стенде с применением полосного аппарата и фильмовой регистрации. Исследовались взаимные воздействия синхронных газовых струй: воздуха и двуокиси углерода. Струя воздуха подвергалась пульсационным воздействиям. Результаты исследований показали существенное влияние параметров возмущения на путь смешивания и конфигурацию струи. По результатам исследований построена форсунка с улучшенными качественными свойствами.

EFFECT OF EXTERNAL DISTURBANCES ON THE MIXING PATH OF GASEOUS
SUBSTRATES AND THE STREAM CONFIGURATION

S u m m a r y

The results of the experiments carried out in a test stand with the use of a streak apparatus and film recording have been presented in the paper. The interaction of synchronous gaseous streams of air and carbon dioxide has been the subject of the tests. The air stream has been subjected to the pulsating disturbances. The test results have proved that disturbance parameters exert an influence on the mixing path and the stream configuration. On the basis of the test results, a gas burner of a high operating quality has been constructed.