ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: ENERGETYKA z.111 Nr kol. 1092

Antoni ZAJDEL

Instytut Techniki Cieplnej
Politechnika Śląska, Gliwice

STABILNOŚĆ PŁOMIENIA OLEJOWEGO[1)]

Streszczenie. Przedstawiono mało zbadany a ważny z punktu widzenia eksploatacji palników olejowych problem stabilności płomienia. Omówiono zasadę i podstawowe sposoby aerodynamicznego stabilizowania płomieni olejowych. Zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych z rozpylaczami gazodynamicznymi.

1. WSTĘP

Paliwa ciekłe w warunkach przemysłowych spalane są najczęściej przy użyciu palników olejowych o różnorodnej zasadzie działania. Zależy to od rodzaju zastosowanego rozpylacza, który jest podstawowym elementem każdego palnika olejowego. W praktyce stosowane są głównie dwa sposoby rozpylania: ciśnieniowy i gazodynamiczny. Obydwa umożliwiają poprawny przebieg procesu spalania paliwa ciekłego pod warunkiem ścisłego utrzymywania wymaganych parametrów paliwa, utleniacza i czynnika rozpylającego.

Warto podkreślić, że uzyskanie takiego płomienia olejowego, w którym spalanie zachodzi bezdymnie, intensywnie i stabilnie, jest znacznie trudniejsze niż przy spalaniu paliwa gazowego. Trudności te wzrastają w miarę pogarszania się jakości spalania paliwa, a głównie wzrostu jego lepkości i gęstości. Takie właśnie paliwa o znacznej lepkości i gęstości najczęściej spalane są w dużych urządzeniach przemysłowych.

Wspomniane dwa typy rozpylaczy ze względu na swój odmienny sposób działania preferowane są w różnych zakresach warunków technicznych instalacji spalania paliw ciekłych. Ogólnie można powiedzieć, że palniki ciśnieniowe wymagają paliw lżejszych i o większej czystości i wówczas przy właściwym doprowadzeniu powietrza do spalania można uzyskać płomień bezdymny.

Poprawną jakość spalania paliw cięższych można w zasadzie osiągnąć jedynie stosując rozpylanie gazodynamiczne. Przy tym sposobie rozpylania, charakteryzującym się znacznymi prędkościami wypływu czynnika rozpylającego, do podstawowej kwestii urasta problem stabilności płomienia.

1) Praca wykonana w ramach CPBP nr 02.18, kierunek 2, zadanie 2.1.3.7

Stabilność płomienia należąca do ważniejszych problemów spalania paliw przy użyciu palników została dość dokładnie zbadana w odniesieniu do płomieni gazowych [1,3,9].

Stabilizacja płomieni olejowych, ze względu na heterogeniczną naturę procesu, jest problemem znacznie trudniejszym w porównaniu z płomieniami gazowymi. Warunki skutecznej stabilizacji płomienia olejowego nie zostały do tej pory wyczerpująco rozpoznane i przebadane. Pojedyncze prace poświęcone były przeważnie badaniom paliw lekkich, jak na przykład nafta [4,5] bądź dotyczyły konkretnych rozwiązań komory spalania [2,6,10] i stanowiły jedynie pierwsze kroki w jakościowym poznawaniu mechanizmu zjawiska. Badania prezentowane w niniejszej pracy dotyczą prostego układu wypływu czynników i dostarczają kolejnych obserwacji o chrakterze jakościowym jak i danych do określenia pewnych zależności ilościowych.

2. STABILIZACJA PŁOMIENIA

Zagadnienie stabilizacji płomienia, polegające na zlokalizowaniu czoła spalania nieruchomo względem palnika lub komory spalania, pojawia się wówczas, gdy prędkość przepływu w obszarze spalania jest większa od prędkości spalania. Jest to prawidłowość obowiązująca niezależnie od rodzaju spalanego paliwa.

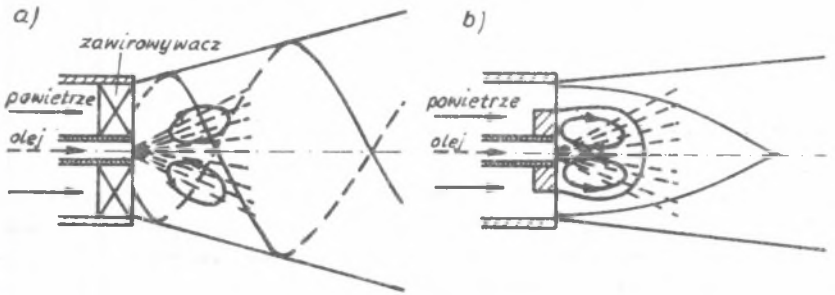
Spośród różnych metod stabilizowania płomienia najlepsze rezultaty w urządzeniach technicznych daje cyrkulacja aerodynamiczna, przy czym w przypadku płomieni olejowych jest to praktycznie jedyny skuteczny sposób. Chodzi w nim o zapewnienie takiego przepływu czynników, aby w obszarze płomienia lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie mogły formować się przepływy zwrotne. Najczęściej mają one postać wirów cyrkulacyjnych, które tworzą obszary ustateczniania będące stałymi źródłami zapłonu.

Skuteczność zabiegów dla ustabilizowania płomienia olejowego jest dość mocno uzależniona od zastosowanego sposobu rozpylania. Łatwiej jest uzyskać stabilny płomień przy palnikach ciśnieniowych, gdzie wymaganą cyrkulację aerodynamiczną osiąga się poprzez zawirowanie i ukierunkowanie strumieni powietrza do spalania. Palniki te jednak nadają się głównie do spalania paliw lekkich. Przy paliwach cięższych jakość rozpylania jest na tyle niezadowalająca, że spalaniu towarzyszy wydzielanie się dużej ilości sadzy i lepsza stabilność przestaje być atutem wobec złej jakości procesu.

Płomienie uzyskiwane za pomocą olejowych palników gazodynamicznych zapewniają lepsze wypalanie paliwa, są jednak trudniejsze do ustabilizowania. Duża prędkość wypływu paliwa porywanego strugą czynnika rozpylającego sprawia, że zawirowanie strug powietrza do spalania nie zapewnia skutecznej stabilizacji płomienia bądź zapewnia ją tylko w pewnym wąskim zakresie parametrów. Stosuje się w takich sytuacjach także inny sposób

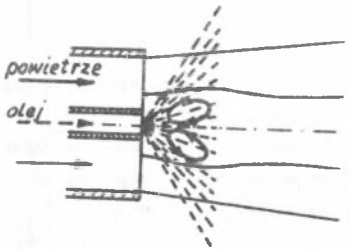
stabilizowania płomienia również wykorzystujący strumień powietrza do spalania, który polega na wprowadzeniu ciała o nieopływowym kształcie do kanału powietrznego. W aerodynamicznym cieniu tego ciała powstają wiry cyrkulacyjne stanowiące obszar ustateczniania płomienia. Skuteczność tego sposobu bardzo silnie zależy od warunków eksploatacji, które w pewnych przypadkach mogą doprowadzić do stopniowej eliminacji funkcji ciała nieopływowego, a przez to do zupełnej utraty stabilności. Jednak przy utrzymaniu dobrego stanu technicznego wszystkich elementów palnika sposób ten daje dobre efekty.

Rysunek 1 objaśnia zasadę stabilizowania płomienia olejowego za pomocą strumienia powietrza do spalania. Pokazano na nim schemat linii prądowych powietrza wypływającego z palnika oraz formowanie się wirów cyrkulacyjnych w przypadku zastosowania u wylotu kanału powietrznego elementu zawirowującego (a) oraz ciała o nieopływowym kształcie (b).



Rys. 1. Stabilizacja płomienia olejowego przez zawirowanie strugi powietrza (a) oraz zastosowanie ciała nieopływowego (b)

Fig. 1. Stabilization of the oil flame by swirl of an air jet (a) and application of a bluff-body (b)



Rys. 2. Stabilizacja płomienia olejowego przez zapewnienie dużego kąta wypływu paliwa z palnika

Fig. 2. Stabilization of the oil fame by ensuring a big angle of fuel outflow from a burner

W praktyce konstrukcyjnej i eksploatacyjnej palników olejowych wypracowano jeszcze jedną metodę stabilizacji płomienia wykorzystującą zasadę wirów cyrkulacyjnych. W metodzie, której ideę przedstawiono na rysunku 2, wiry cyrkulacyjne formują się niezależnie od ilości i sposobu doprowadzania powietrza do spalania. Decydujące znaczenie ma tutaj odpowiedni kształt płomienia, który powinien cechować się dużym kątem rozwarcia. We wnętrzu stożka płomieniowego powstaje wówczas strefa ustateczniania. Właściwy kształt takiego płomienia uzyskuje się najczęściej

przez odpowiednią konstrukcję wylotu palnika [8]. Jeżeli w czasie eksploatacji płomień zachowuje właściwy kształt, to skuteczność tej metody jest duża. W przypadkach rzeczywistych komór spalania szeroki, krzaczasty płomień jest niekiedy niepożądany i wówczas pozostają jedynie wymienione wcześniej metody stabilizowania za pomocą strumienia powietrza do spalania.

Wszystkie wymienione metody aerodynamicznej stabilizacji płomienia olejowego stosowane są w praktyce w różnych sytuacjach zależnych od konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych zespołów palnikowych. Rozwiązania te opracowywane są najczęściej w wyniku eksperymentów. Tą drogą dobiera się właściwe kąty, wymiary i kształty palników olejowych. Badania takie prowadzi się w rzeczywistych komorach spalania lub w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. W warunkach laboratoryjnych możliwość uzyskania zadowalającego rozwiązania jest ograniczona. Można natomiast określać pewne tendencje wpływu wybranych parametrów oraz rozpoznawać jakościowo badany proces.

3. BADANIA LABORATORYJNE

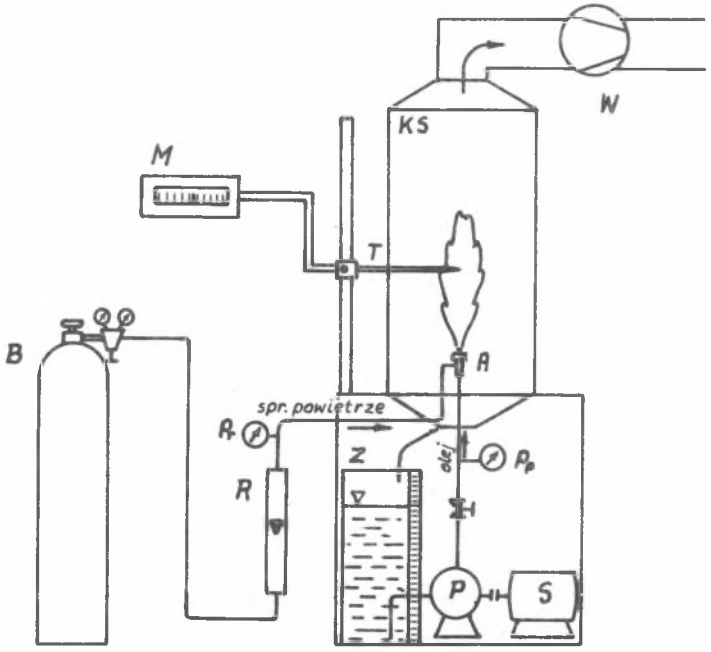
Na stanowisku laboratoryjnym pokazanym schematycznie na rysunku 3 przeprowadzono badania, w których określono zakres parametrów warunkujących stabilne spalanie paliwa ciekłego rozpylanego sprężonym powietrzem. Jakość spalania w uzyskiwanych płomieniach oceniano poprzez pomiar rozkładu temperatur w ich osiach. Spalanym paliwem był olej napędowy.

W badaniach zastosowano rozpylacz gazodynamiczny, pokazany na rysunku 4, o prostej budowie, w którym przepływ obu czynników: paliwa i powietrza rozpylającego był równoległy. Wymiary elementów rozpylacza i parametrów czynników tak dobrano, aby uzyskać płomień o niewielkich rozmiarach. Wydajność rozpylacza w czasie badań mieściła się w zakresie 1,30 - 1,70 kg/godz.

W badanym układzie rozpylacza gazodynamicznego, w którym opuszczająca przewód struga paliwa jest rozpylana otaczającą ją strugą powietrza wypływającego z dużą prędkością z pierścieniowego otworu, nie zastosowano żadnego stabilizatora płomienia. W takim bowiem układzie przepływu czynników, gdy powietrze do spalania dopływa samoczynnie do płomienia, możliwe jest - w pewnych zakresach parametrów - stabilne spalanie, bez stosowania wymienionych sposobów stabilizowania. W praktyce przemysłowej stosuje się tego typu rozwiązania [7].

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki pomiarów dotyczących wyznaczenia zakresu parametrów spalania oleju stabilnym płomieniem. W układzie współrzędnych m_r/m_p, w_r zakres ten obejmuje pasmo zwężające się w kierunku wzrostu prędkości wypływu czynnika rozpylającego. Stosunek m_r/m_p ozna-

cza zużycie czynnika rozpylającego na jednostkę rozpylanego paliwa, natomiast w_r - prędkość wypływu czynnika rozpylającego z rozpylacza. Wyniki te uzyskano stosując różne przekroje pierścieniowego otworu wypływu powietrza rozpylającego. Zakres zastosowanych prędkości w_r był zdeterminowany uzyskaniem odpowiedniej jakości rozpylania i zapewnieniem stabilnego płomienia. Przy prędkościach w_r mniejszych od 110 m/s jakość rozpylania paliwa była na tyle niewystarczająca (zbyt duże krople), że uwarunkowana nią mała intensywność procesów przygotowawczych wytworzenia homogenicznej mieszanki palnej, tzn. podgrzewania kropel, odparowania, mieszania z powietrzem, nie dawała możliwości uzyskania płomienia.
Z kolei zbyt duża prędkość w_r (większa niż 240 m/s) powodowała szybką utratę stabilności i odrywanie płomienia.

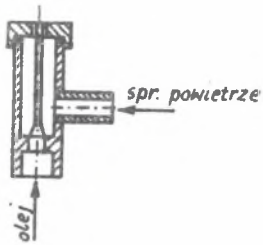


Rys. 3. Stanowisko badawcze

A - rozpylacz gazodynamiczny, B - butla ze sprężonym powietrzem, KS - komora spalania, M - miernik temperatury, P - pompa zębata, p_r, p_p - manometry, R - rotametr, S - silnik elektryczny, T - termopara PtRh-Pt, W - wentylator, Z - zbiornik paliwa

Fig. 3. Investigation stand

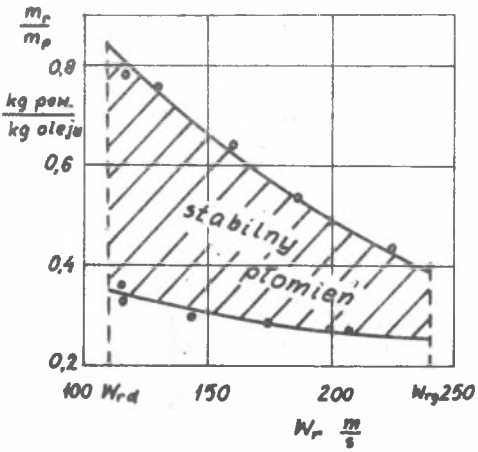
A - air blast atomizer, B - high-pressure air cylinder, KS - combustion chamber, M - temperature meter, P - gear pump, p_r, p_p - manometers, R - rotameter, S - electric motor, T - PtRh-Pt thermocouple, W - fan, Z - fuel tank



Rys. 4. Rozpylacz gazodynamiczny

Fig. 4. Air blast atomizer

Wyniki pomiarów temperatur w osi płomieni wyznaczanych przy użyciu termopary PtRh-Pt, dla zakresu parametrów dających stabilny płomień, zaprezentowano na rysunkach 6 i 7. Na rysunku 6 pokazano wpływ prędkości w_r na średnią temperaturę $t_{śr}$, natomiast na rysunku 7 wpływ stosunku m_r/m_p na średnią temperaturę $t_{śr}$ (a) oraz na maksymalną temperaturę t_{max} (b). Temperatury te charakteryzują zmierzone rozkłady. Punkty pomiarowe zagęszczano w obszarach większych gradientów temperatur. Temperatura t_{max} jest maksymalną zarejestrowaną w zmierzonym osiowym rozkładzie, natomiast temperaturę $t_{śr}$ obliczono jako średnią ważoną, przy czym wagami były długości odcinków występowania temperatury w danym punkcie pomiarowym.

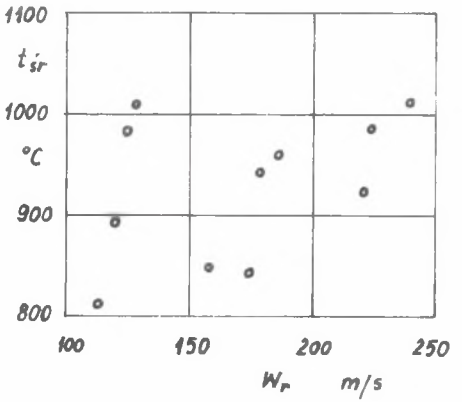


Rys. 5. Zakres stabilności płomienia

Fig. 5. Range of flame stability

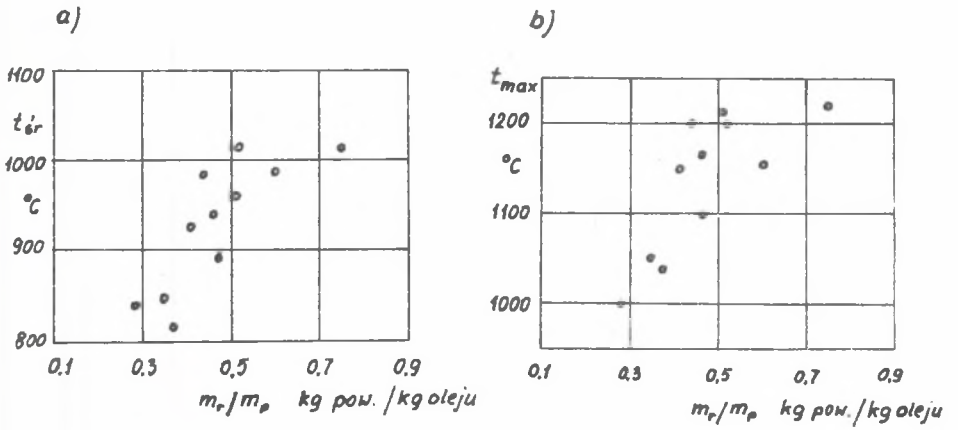
4. UWAGI KOŃCOWE

W wyniku przeprowadzonych badań eksperymentalnych zaobserwowano pewne prawidłowości cechujące spalanie paliwa ciekłego rozpylanego gazodynamicznie, w opisanych warunkach laboratoryjnych. Spostrzeżenia te w pewnym zakresie znajdują potwierdzenie w obserwacjach poczynionych podczas eksploatacji palnika olejowego o podobnej konstrukcji w warunkach rzeczywistego kotła parowego OP-215 [7].



Rys. 6. Wpływ prędkości czynnika rozpylającego na średnią temperaturę w osi płomienia

Fig. 6. Effect of atomizing agent velocity on mean temperature in flame axis



Rys. 7. Wpływ ilości czynnika rozpylającego na temperatury w osi płomienia:
średnią (a) i maksymalną (b)

Fig. 7. Effect of amount of atomizing agent on temperature in flame axis:
mean temperature (a) and maximum temperature (b)

Jest możliwe uzyskanie stabilnego płomienia olejowego, bez stosowania specjalnych aerodynamicznych elementów stabilizujących, jeżeli prędkość wypływu czynnika rozpylającego mieści się w pewnych granicach. Granice te, w_{rd} - dolna i w_{rg} - górna, zależą od rodzaju paliwa, warunków komory spalania, rodzaju i parametrów czynnika rozpylającego.

W niniejszych badaniach, gdzie czynnikiem rozpylającym było sprężone powietrze o temperaturze otoczenia, granice te wyniosły: dolna - około 110 m/s i górna - około 240 m/s.

W przypadku wspomnianego palnika i komory kotła parowego [7], gdzie czynnikiem rozpylającym była para nasycona sucha, granice te wynosiły odpowiednio 200 m/s i 400 m/s.

Badana stabilność płomienia, której miarą może być szerokość zakreskowanego pasma na rysunku 5, obniża się ze wzrostem prędkości. Zatem dla zwiększenia pewności stabilnego spalania należy stosować prędkości wypływu czynnika rozpylającego z sąsiedztwa dolnej granicy.

Do podobnego wniosku dochodzi się także z analizy jakości spalania w płomieniu olejowym. Miarą jakości spalania jest poziom temperatur w płomieniu. W wyniku lepszego spalania osiąga się wyższe temperatury. Badania wykazały, że w badanym zakresie parametrów prędkość w_r nie ma wpływu na uzyskiwane temperatury (rysunek 6), natomiast zaznacza się widoczny wpływ stosunku m_r/m_p (rysunek 7). Z rysunku 7 widać, że zarówno średnie, jak i maksymalne temperatury w płomieniu rosną ze wzrostem stosunku m_r/m_p. Te wyższe wartości stosunku m_r/m_p, jak widać to na rysunku 5, są możliwe do uzyskania przy niższych prędkościach w_r, a więc prędkościach z sąsiedztwa dolnej granicy.

W komentarzu do wyciągniętych wniosków warto zauważyć, że dobór właściwej prędkości w_r oraz stosunku m_r/m_p powinien być wynikiem pewnej optymalizacji, w której oprócz kryteriów eksploatacyjnych (stabilność płomienia, jakość spalania) należy uwzględnić kryteria ekonomiczne. Te zaś sugerują realizację procesu przy możliwie niskim zużyciu kosztownego czynnika rozpylającego, czyli niskim stosunku m_r/m_p.

LITERATURA

[1] Aslanov S.K.: K teorii ustojcivosti plameni. Inż.-fiz. żurn., Oktjabr 1966.

[2] Beer J.M.: On the stability and combustion intensity of pressure-jet oil flames. Combustion, vol. 37, No 2, 1965.

[3] Beer J.M., Chigier N.A.: Combustion aerodynamics. Appl.Sci.Publ. Ltd, London 1972.

[4] Chigier N.A., Mc Creath C.G., Makepeace R.W.: Dynamics of droplets in burning and isothermal kerosene spray. Comb. and Flame 23, 1974.

[5] Chigier N.A., Roett M.F.: Twin-fluid atomizer spray combustion. ASME Winter Annular Meeting. Paper No 79-WA/HT-25. New York 1972.

[6] Farag T.M., Arai M., Hiroyasu H.: Effect of fuel volatility on spray combustion. XIXth Symp. on Comb., The Combustion Institute, 1982.

[7] Opracowanie i zastosowanie nowej konstrukcji palnika olejowego oraz optymalizacja... Sprawozdanie z pracy wdrożeniowej W-22/RME-3/84, ITC Pol.Śl., ZPBE Energopomiar, Gliwice 1985.

[8] Opracowanie możliwości prowadzenia procesów rozpalania i stabilizacji spalania... Sprawozdanie z pracy n-b NB-161/RME-3/W919/89, ITC Pol. Śl., ZPBE Energopomiar, Gliwice 1989.

[9] Remonyi K.: Combustion stability. Akademiai Kiado, Budapest 1980.

[10] Suzuki K., Nagahama H., Akita M., Sato T.: Blow-out limit of air-atomized spray flames. Bull. of the JSME, vol. 18, No 123, 1975.

Recenzent: Prof. dr inż. Kazimierz Moszoro

УСТОЙЧИВОСТЬ МАСЛЯНОГО ПЛАМЕНИ

Р е з ю м е

В статье представлена редко рассматриваемая, но имеющая значение для эксплуатации масляных форсунок, проблема устойчивости пламени. Описан принцип и основные способы аэродинамического стабилизирования масляных пламеней. Представлены результаты лабораторных исследований проводимых с газодинамическими форсунками.

OIL FLAME STABILITY

S u m m a r y

Oil flame stability problem, important in oil burners operating but not yet enough investigated, is considered. The principle and basic methods of aerodynamic stabilization of oil flames are discussed. Results of experimental laboratory investigations carried out with the air blast atomizers are presented.