

Ryszard PETELA
Stanisław ZIELEŹNY
Zbigniew KOCHEL

WIZUALNE BADANIA IZOCHORYCZNEGO SPALANIA METANU

Streszczenie. Na tle istniejącej literatury zagadnienia zbudowano własną instalację badawczą do badania procesu spalania gazu w komorze o stałej objętości i przy użyciu szybkobieżnej kamery filmowej. Obraz spalania i prędkości czoła spalania inicjowanego iskrą przeanalizowano w przypadku zapłonu przyściennego, centralnego oraz przy obecności rudy żelaza. Wyniki przedstawiono wykresem i fotografiami.

1. Wstęp

W związku z ogólnym rozwojem badań w dziedzinie procesu spalania w tłokowych silnikach spalinowych ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień hałasu i toksyczności wylotowych spalin, niniejszą pracą w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej zapoczątkowano badania nawiązujące do powyższej tematyki. Nadano im charakter podstawowych badań laboratoryjnych, spodziewając się uzyskać z nich ogólne i przyczynkowe wnioski dotyczące mechanizmu spalania mieszanki palnej w komorze o stałej objętości. Dodatkowym problemem było również wypracowanie metody badawczej i sprawdzenie jej poszczególnych elementów. Celem pracy było więc sformułowanie dalszych szczegółowych i istotnych kierunków badań przy użyciu ulepszonej metody badawczej. Praca była również okazją do studiów literatury krajowej zagranicznej w zakresie poruszanych zagadnień. Niniejszy artykuł jest selektywnym streszczeniem pracy [10].

2. Przegląd literatury rozważanego zagadnienia

Literatura na temat badań spalania w tłokowym silniku spalinowym z zapłonem iskrowym jest bardzo obszerna i początek swój bierze jeszcze w latach dwudziestych naszego wieku [13]. Dla przykładu można wspomnieć o niektórych pozycjach tej literatury i charakterystycznych zagadnieniach.

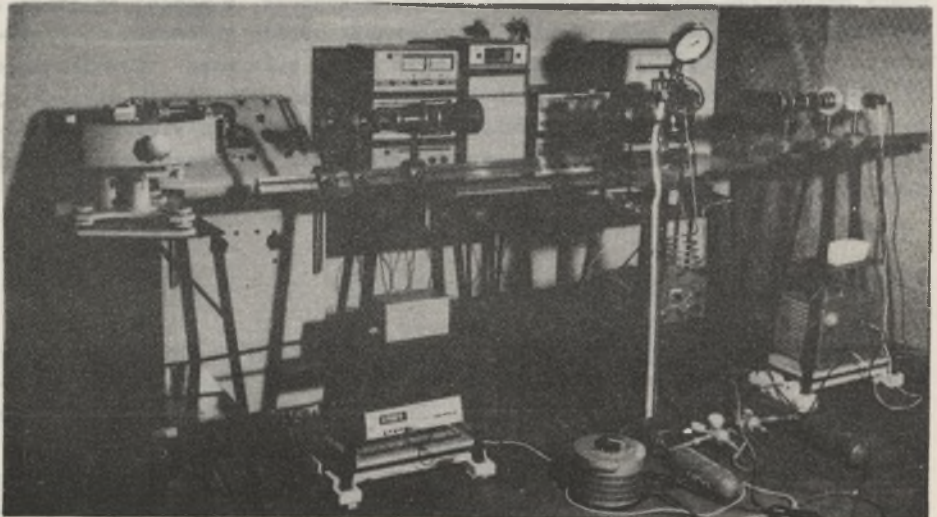
Zmodyfikowany do badań silnik z oknem ze szkła kwarcowego stosowali badacze amerykańscy [3], [26], [27], japońscy [17], [18] a współcześnie niemieccy [2]. Silnik z napędem obcym i realizujący tylko pojedyncze cykle

działania był następnym etapem badawczym realizowanym w Niemczech (1935), w Anglii (1960), Austrii (1960) i ZSRR (1970). Jeszcze bardziej od warunków rzeczywistego spalania odbiega się przy spalaniu w komorze o stałej objętości, jednak metoda jest mniej kosztowna i dość prosta. Stosowali ją badacze amerykańscy [5], [14], francuscy [6], japońscy [16] i niemieccy [19]. Zastosowanie lasera w układzie smugowym jako źródła światła oraz zapłonu spotykamy w pracy amerykańskiej [8], a także w Politechnice Warszawskiej (Inst. Techniki Ciepłej).

Można również wyodrębnić literaturę w zakresie szczegółowych zagadnień omawianego procesu spalania. Na przykład na temat iskry zapłonowej liczne badania można tu scharakteryzować pracami [1], [24], [28], [23], [25]. W pracy [21] opisano przyszłościowy układ zapłonu z miniaturowym komputerem i fotooptycznym czujnikiem do pomiaru prędkości obrotowej silnika. Na podstawie danych o warunkach obciążenia silnika komputer ma zadanie regulować parametry iskry elektrycznej. Dalsze wartościowe badania dotyczące świec zapłonowych opisane są w pracach [21], [20], [22], [4], [9], [15], [7]. Wartościowe są również monografie [12] i [11].

3. Opis stanowiska badawczego i przeprowadzania badań

Widok ogólny stanowiska badawczego przedstawia rysunek 1. Na tle pulpitu sterowniczego kamery i elementów składowych chromatografu stoją od lewej kamera do zdjęć szybkich oraz ława optyczna z aparaturą smugową i komorą spalania w środku. Na podłodze widać leżące butle z metanem i tlenem. Komora spalania o objętości 308 cm^3 ma kształt cylindra ($\varnothing 70 \times 60 \text{ mm}$), przy czym obie ściany płaskie są wykonane ze szkła optycznego o grubości 3 cm i umożliwiają obserwację całego wnętrza. W metalowej ścianie komory znajduje się 6 nagwintowanych otworów umożliwiających np. doprowadzenie sub-



Rys. 1. Stanowisko badawcze

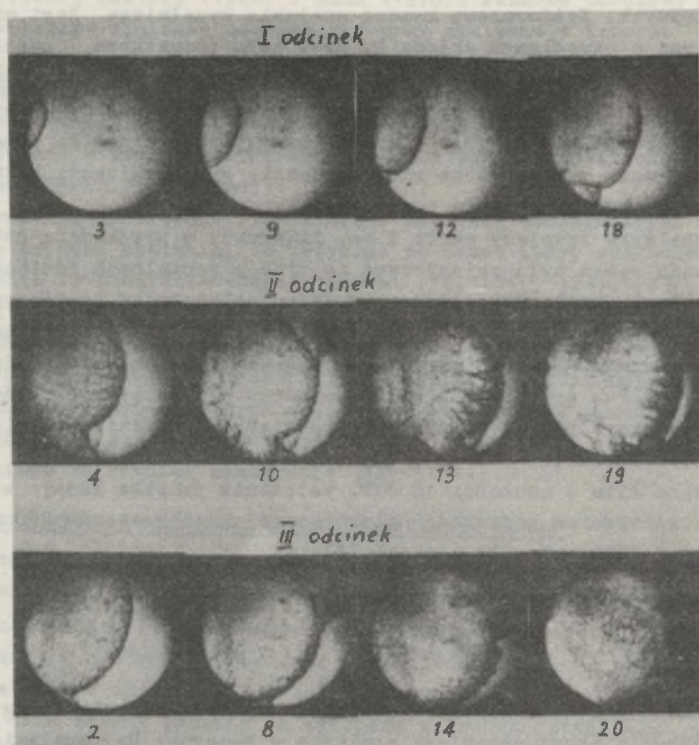
stratów, odprowadzenie spalin, zastosowanie manometru, termopary i dwóch świec zapłonowych. Każdorazowo komora spalania wypełniana jest mieszanką metanu i tlenu o określonym składzie, przy czym początkowe nadciśnienie substratów nie przewyższało wartości 3 bar ze względu na bezpieczeństwo. Specjalne układy elektryczne umożliwiają regulację natężenia światła błysku, jego żądane opóźnienie oraz energię iskry elektrycznej. Za pomocą oscyloskopu z pamięcią przeprowadza się cechowanie synchronizacji iskry z błyskiem światła i chwili początku ekspozycji.

Proces spalania trwający około 3 ms, filmowany z prędkością 25000 kadrów na sekundę można było rejestrować na trzech normalnych odcinkach filmu. Dla zarejestrowania więc jednego procesu należało go powtórzyć trzykrotnie rejestrując kolejne fazy. Ze względu na trudność dotrzymania powtarzalności procesu spalania uzyskiwany materiał był obciążony odpowiednim błędem, zaś analiza przebiegu ciągłego procesu od początku do końca ma charakter bardzo przybliżony. Otrzymywano również zachodzenie na siebie odcinków procesu spalania.

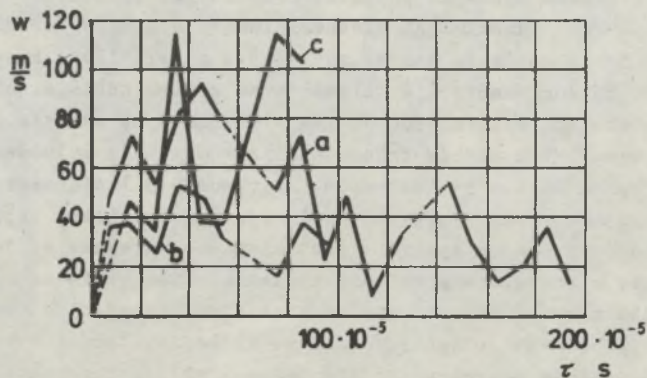
Zastosowano film o czułości 18 DIN. Natężenie światła lampy błyskowej odpowiadało wartościom pojemności elektrycznej kondensatorów 750 dla odcinka I i II oraz 1000 μF dla odcinka III.

4. Wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono dla przykładu wybrane zdjęcia filmu stanowiących w skrócie obraz przebiegu spalania w komorze. Do spalania preparowano mieszankę stechiometryczną o udziale molowym metanu $1/3$ i tlenu $2/3$ przy ciśnieniu początkowym 2,258 ata i w temperaturze pokojowej. Idącby pod fotografiami oznaczają numer kolejny klatki filmu danego odcinka. Zastosowane energie zapłonu określoną pojemnością 1 μF . Fotografie potwierdzają fakt, że czoło spalania początkowo laminarne przechodzi w miarę upływu czasu poprzez turbulencję drobnoskalową w spalanie turbulентne szerokoskalowe. Czoło spalania tworzy początkowo ciągłą linię krzywą, potem zaś w pobliżu ścianki następują zakłamania na skutek odbicia. Widać złożoną strukturę obszaru spalin spowodowaną przez kolejne odbicia fal od ścianki. Analiza wszystkich kadrów trzech odcinków wykazuje pulsowanie prędkości w czole spalania, co przedstawiono na rysunku 3 linią łamaną a. Czas na tym rysunku odmierzany jest od chwili wystąpienia iskry zapłonowej. Maksymalna wartość prędkości spalania jest niewiele mniejsza od 100 m/s i osiągnięta jest w początkowym okresie spalania. Fotografie na rysunku 2 wykazują ponadto stopień zachodzenia na siebie poszczególnych odcinków, a także niepowtarzalności przebiegu procesu spalania, będącą wynikiem niedokładnego ustalenia początkowego ciśnienia i składu chemicznego mieszanki przy ładowaniu komory spalania oraz wynikiem losowości przebiegu zjawiska.

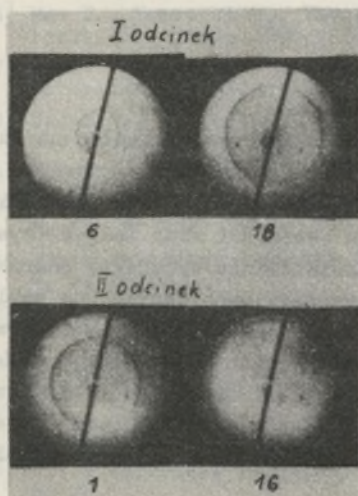


Rys. 2. Przebieg spalania w komorze



Rys. 3. Prędkość czoła spalania

Podobne badanie procesu spalania przeprowadzono przy zmienianej jedynie energii zapłonu dla pojemności wynoszącej 1,5 i 2 μF . Nie uzyskano jednak uchwytanych prawidłowości zmian.

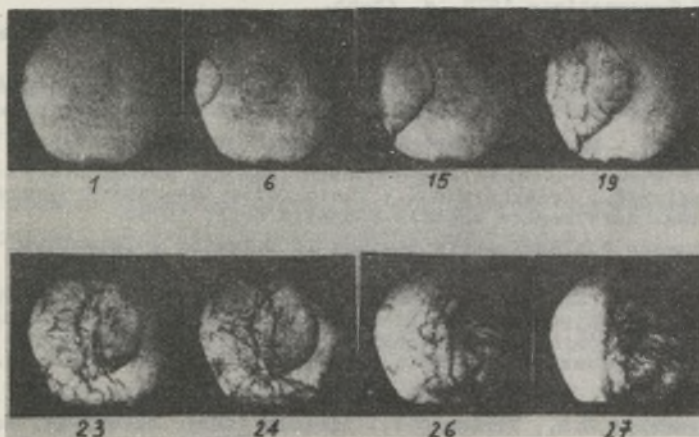


Rys. 4. Wpływ centralnego zapłonu na przebieg spalania

Kolejnym badaniem podano spalanie w przypadku lokalizacji iskry zapłonowej w środku (rys. 4). Energia zapłonu odpowiadała pojemności 1 μF . Proces spalania w tym przypadku jest krótszy i zdolano go w całości zarejestrować na dwóch odcinkach filmu. Czoło spalania rozchodzi się sferycznie i dość regularnie. Prędkość tego czoła przedstawiona na rysunku 3 linią b. Lekką deformację czoła spalania obserwuje się jedynie przy elektrodach zapłonowych zanurzonych w obszarze spalin. Przepuszczalność znaczna symetria zjawiska sprawia, że spalanie do końca przedstawia obraz laminarny.

Mając na myśli próbę określenia katalitycznego wpływu materiału ścian komory na przebieg spalania, wyklejono ściany komory 60 procentową rudą żelaza. Zastosowano energię zapłonu przy pojemności 1 μF . Przebieg spalania był krótki i zmieścił się na I odcinku filmu (rys. 5). Wystąpiła duża prędkość spalania (linia c na rysunku 3) osiągająca maksimum rzędu 110 m/s oraz nieregularny przebieg spalania. W trakcie spalania ze ścian zaczęła

Wystąpiła duża prędkość spalania (linia c na rysunku 3) osiągająca maksimum rzędu 110 m/s oraz nieregularny przebieg spalania. W trakcie spalania ze ścian zaczęła



Rys. 5. Wpływ rudy żelaza na przebieg spalania

odpadać ruda, co objawiło się przez zaciemnienie obszarów tuż przy ścian-
ce. Ziarna rudy uszkodziły w sposób trwały szkło optyczne. Obserwuje się
znaczna turbulencję obszaru.

5. Wnioski końcowe

Badania dostarczyły licznych wniosków szczegółowych dotyczących ulep-
szenia instalacji badawczej. Potwierdziły się ogólne dane o rozwoju spala-
nia w komorach ciśnieniowych oraz uzyskano jakościowe dane o prędkości
spalania osiągającej największe wartości w obecności rudy żelaza (rys. 3).

Najważniejszym jednak wnioskiem jest stwierdzenie wyraźnego charakteru
losowego przebiegu spalania i zebranie orientacyjnych danych do zaplano-
wania właściwej liczby eksperymentów zapewniającej poprawne zastosowanie
statystyki matematycznej do otrzymania wiarygodnych zależności ilościowych.

Celowe i skuteczne będzie więc kontynuowanie rozpoczętych badań zmie-
rzających do określenia wpływu parametrów iskry zapłonowej oraz materia-
łów ścian (np. stal chromowa, niklowa, miedziowa) na przebieg spalania.

LITERATURA

- [1] Altrogge W.: Über eine neue kondensatorzündung. MTZ t. 16, nr 9.
- [2] Augsburg H.: Auswertverfahren der Druckverläufe und elektrenische Be-
rechnung des Verbrennungsverlaufs in Dieselmotoren mit unterteilten
Brennräumen. MTZ t. 32, nr 12.
- [3] Boyt T.A.: Engine flame researches. SAE Transaction Nr 4 (1939), t.45.
- [4] Burgett R.R., Leptich J.M.: Measuring the Effect of Spark Plug and
Ignition System Design on Engine Performance. SAE Paper nr 720007,
SAE Transactions 1972, s. 48-66.
- [5] Cole D.E., Mirsky W.: Mixture Motion - its Effect on Pressure Rise
in a Combustion Bomb. SAE Transaction 1935.
- [6] Derbez M., Delbourge R.: Zapłon mieszanin powietrza-etylen-chlorowód-
ór w reaktorze cylindrycznym zamkniętym. R.G.T. 1971, t. 10, nr 119.
- [7] Hurtley - Ignition. Part 1. Automobile Engineer 1969, t. 59, nr 3, s.
96-100.
- [8] Kamel M.M., Oppenheim A.K.: Photografic Laboratory Studies of Exple-
sions. Aerotecnica Missili E Spazio nr 2, 1973.
- [9] Katuszew W.: Wyżiganije metana iz smiesiej s iniertnymi gazami. Chi-
miczeskaja Promyszlennost nr 1, 1969.
- [10] Kochel Z., Zieleźny S.: Badania przebiegu procesu spalania w komorze
o stałej objętości. Magisterska praca dyplomowa, Instytut Techniki
Ciepłej Politechniki Śląskiej, Gliwice 1976, maszynopis 80 stron oraz
liczne rysunki, schematy i negatywy materiałów filmowych.
- [11] Kordziński Cz.: Świece zapłonowe. WKiŁ, Warszawa, 1966.
- [12] Łozanski E.D., Firsow O.B.: Teoria iskry. Atomizdat, Moskwa 1975.
- [13] Mader O.: Weiter entwicklung des Junkers - Deppelkolbenmotors. VDI
1925, z. 69.

- [14] Marchant, Cobb, Butlin: Szykki układ interferometryczny do badania propagacji płomienia. OLT 1971, t. 3, nr 3.
- [15] Meurer: MAN modified M Combustion System burns any grade of gasoline efficiently and without knock. SAE Journal 1969, nr 6, s. 36-41.
- [16] Mon T., Yamazaki K.: Variation of flame propagation time in a spark ignition engine. JSME 1970, nr 58.
- [17] Nagao F., Kakimoto M.: Kraftstoffeinspritzung und Verbrennung in der Wirbelkammer. MTZ 1959, nr 6.
- [18] Nagao F., Kakimoto H., Hiurkowa M.: The Effect of Combustion Swirl on the Combustion in a Diesel Engine. Buletin JSME 1960.
- [19] Pischlner R.: Bombenversuche über Gasverbrennungen. MTZ 1969, nr 5.
- [20] Praca zbiorowa: Current patents. Ignition system. Auto Engr., London t. 45, nr 10.
- [21] Praca zbiorowa: Ignition Computer for Automobiles. Ind. Res. 1973, nr 6, s. 21-22.
- [22] Praca zbiorowa: Plasma - Jet Spark Plug Ignites Weak Mixtures. Automotive Engineering 1974, nr 5, s. 27.
- [23] Praca zbiorowa: Les Thyristors dans l'allumage des moteurs a combustion interne. Ing. Le l'auto 1975, nr 6-7, s. 182-186.
- [24] Praca zbiorowa: Transistorised Ignition Systems Uses Optics and Another for Proximity Sensor. Engineer 1974, nr 6149.
- [25] Praca zbiorowa: Zaplavani plazmovym paprskom. Automobil 1974, nr 12, s. 22.
- [26] Rasweiler F.M., Withrou L.: Motion Pictures of Engine Flames Correlated with Pressure. SAE Transactions Nr 4 (1938), s. 42.
- [27] Rothrock A.M.: Photographic Study of Combustion in Compression Ignition Engine. SAE Transaction 1934.
- [28] Serbinow A.J.: Rol fizycznych i chemicznych procesow pri wosplamienieniu razpylennykh zhidkikh topliw dwigateli z wosplamienieniem od szatja. Maszgiz 1951.

ВИЗУАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗОХОРИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ МЕТАНА

Резюме

На основе существующей литературы по этой проблеме построена собственная испытательная установка для исследования горения газа в камере с постоянным объемом и использованием сверхскоростной съёмочной камеры. Изображение горения и скорости фронта горения, инициирующего искрой, проанализированы в случае настенного зажигания, центрального а также в присутствии железной руды. Результаты представлены диаграммой и фотографиями.

VISUAL INVESTIGATION OF ISOCHORIC COMBUSTION OF METHANE

Summary

On the background of existing literature on considered problem the own research installation for an examination of combustion process of gas fuel in the chamber of constant volume has been built and the high speed camera has been used. The image of combustion and the flame velocity initiated by a spark have been analysed in the case of close to the wall ignition, central ignition and at the presence of iron ore. The results have been illustrated by diagrams and photographs.

[1] ...

[2] ...

[3] ...

[4] ...

[5] ...

[6] ...

[7] ...

[8] ...

[9] ...

[10] ...

[11] ...

[12] ...

[13] ...