

Rudolf ZAMOJDO

Jerzy MŁOTKOWSKI

Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów
Politechniki Wrocławskiej

ZASTOSOWANIE ANALIZY CHROMATYCZNO-EKWIDENSYTOMETRYCZNEJ DO BADANIA POLA TEMPERATUR W MODELOWEJ KOMORZE SPALANIA

Streszczenie. Przedstawiono metodę i opis stanowiska do badań pola temperatur wewnątrz modelowej komory spalania z wykorzystaniem ekwidensytometrycznej analizy obrazów fotograficznych płomienia. Opisano zastosowanie nowoczesnego materiału AGFACONTOUR do analizy ekwidensytometrycznej.

1. Wstęp

Pole temperatur w przemysłowych obiektach energetycznych i komorach do realizacji wysokotemperaturowych procesów energotechnologicznych określa się znanymi metodami, w sposób przybliżony, na drodze bezpośredniego pomiaru lub w procesie badań modelowych. Jedną z takich metod badania pola temperatur w komorze spalania może być metoda polegająca na wykorzystaniu ekwidensytometrycznej analizy obrazów fotograficznych płomienia. Zastosowanie metody ekwidensytometrycznej analizy stwarza możliwość jakościowej oceny procesu spalania w komorze. Istnieje także możliwość oceny ukształtowania komory paleniskowej już na etapie projektowania.

W praktyce zdarza się, że obiektem pomiarowym, np. w urządzeniach energotechnologicznych, jest gorący gaz, chemicznie agresywny wobec przyrządów pomiarowych, często o temperaturze przekraczającej 1800 K. W tym przypadku znalezienie rozkładu pola temperaturowego możliwe jest tylko na drodze pirometrycznej z koniecznością wykorzystania metody rejestracji i analizy obrazu promieniowania elektromagnetycznego ośrodka gazowego.

Rejestracja wielospektralna obrazu promieniowania oraz cyfrowe przetworzenie i analiza obrazów stanowią kuszącą metodę rozwiązania problemu badawczego - pociągają jednak ogromne koszty, związane z delikatną i trudno osiągalną aparaturą pomiarową.

2. Sformułowanie koncepcji badań

Chcąc rozwiązać zagadnienie określenia rozkładu temperatur wewnątrz wysokotemperaturowych komór spalania, stajemy przed problemem znalezienia i zarejestrowania całkowitej mocy promieniowania, emitowanej z elementarnej objętości gazów spalinowych.

Promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez ciało sprowadza je do równowagi termodynamicznej z otoczeniem. Istnieją dwa podstawowe rodzaje emisji promienistej: temperaturowa i luminescencyjna. Nadwyżka energii promienistej nad emisję temperaturową stanowi promieniowanie luminescencyjne.

Najprostszą strukturę widma emisyjnego, stanowiącą konsekwencję skwantowania stanów energetycznych atomów, tworzą gazy jednoatomowe. Widmo takie tworzy szereg serii linii, których liczby falowe opisano [1] prostymi wzorami, np. dla wodoru:

$$\frac{1}{\lambda} = Z^2 \cdot R \cdot \left(\frac{1}{j^2} - \frac{1}{i^2} \right), \quad (1)$$

w którym: λ - długość fali promieniowania; Z - liczba porządkowa pierwiastka; R - stała Rydberga; i, j - liczby naturalne ($i > j$), których pewne wartości tworzą serie wykryte doświadczalnie. Linie tych serii mają bardzo wąski zakres widmowy. Szerokość linii widmowej w zakresie średnioletowej podczerwieni jest równa $\Delta \lambda = 0,01 \mu\text{m}$.

Cząsteczki o szczególnie rozbudowanym układzie, np. CO_2 , H_2O itp., mają potrojną strukturę widma emisyjnego, składającą się z energii elektronów wchodzących w skład cząsteczki Q_{el} , energii oscylacji wewnątrz cząsteczkowych Q_{osc} i energii rotacji cząsteczki jako całości Q_{rot} . Rozkład częstotliwości n_c w pasmach emisyjnych takich molekuł wyraża się [1] wzorem:

$$n_c = \frac{1}{h} \cdot (\Delta Q_{el} + \Delta Q_{osc} + \Delta Q_{rot}), \quad (2)$$

w którym: h - stała Plancka - elementarny kwant działania.

Promieniowanie elektronu leży w zakresie widzialnym promieniowania nadfioletowego i krótkofalowym zakresie promieniowania podczerwonego. Promieniowanie oscylacyjne leży w zakresie 1 - 50 μm długości fali promieniowania - tzw. bliska podczerwień. Promieniowanie rotacyjne leży w dalekiej podczerwieni.

Obraz promieniowania gazów spalinywych wewnątrz wysokotemperaturowych komór spalania komplikuje jeszcze bardziej samo pole temperaturowe, gdyż w pewnych obszarach płomienia gaz doprowadzany jest do stanu plazmy niskotemperaturowej (mieszanina jonów) w temperaturach od 2000 K, zaś w innych o niższej temperaturze mogą istnieć ośrodki gazowe o wieloatomowej strukturze cząsteczkowej.

Pole temperatury wpływa na rozkład widmowy mocy promieniowania poprzez:
- zmianę struktury budowy atomowej ośrodka (dysocjacja termiczna);
- opisane prawem Wiena przesunięcie maksimum mocy promieniowania monochromatycznego, w kierunku fal krótszych dla ośrodków o wyższej temperaturze.

Prawo przesunięcia Wiena [1] podaje związek między temperaturą T i długością fali λ_{max} , przy której intensywność promieniowania jest największa:

$$\lambda_{max} \cdot T = 0,288 \cdot 10^{-2} \quad [m \cdot K] \quad (3)$$

Prawo to otrzymuje się przez zróżniczkowanie prawa promieniowania Plancka, sformułowanego [2] dla ciała doskonale czarnego:

$$L_e(\lambda, T)_{CC} = \frac{2 C_1}{\lambda^5 \cdot R_0 \cdot e^{C_2/\lambda T - 1}}, \quad (4)$$

w którym: $L_e(\lambda, T)_{CC}$ - energia promieniowania, wysyłana z jednostki długości fali, w obrębie jednostki kąta bryłowego i w jednostce czasu, czyli:

$$c_1 = c^2 \cdot h = 5,953 \cdot 10^{-17} \quad [W/m^2]$$

$$c_2 = c \cdot h / K = 1,4388 \cdot 10^{-2} \quad [m/K]$$

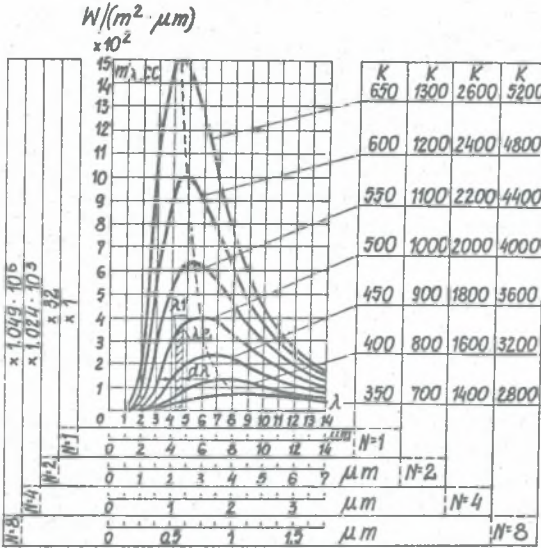
h - stała Plancka

- c - prędkość światła w próżni,
- λ - kąt bryłowy.

Z równania Plancka po prostych przekształceniach otrzymuje się zależność opisującą monochromatyczną emitancję promienistą ciała czarnego:

$$m_{\lambda,cc} = \frac{2 \cdot \pi \cdot C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad [W/m^2] \quad (5)$$

Przebieg funkcji $m_{\lambda,cc}$ dla różnych temperatur ciała doskonale czarnego pokazano na rys.1.



Rys.1. Rodzina funkcji rozkładu widmowego promieniowania wg wzoru Plancka

Fig.1. Spectral distribution of monochromatic power radiation after the Planck's law (5)

sztowne, a kamery termowizyjne ze względu na przesunięcie maksimum mocy promieniowania wysokotemperaturowych gazów spalinowych do zakresu widzialnego (patrz rys.1), obarczone są ponadto znacznym błędem pomiaru.

W celu uniknięcia niedogodności obu metod pomiarowych zaproponowano zastosowanie analizy chromatyczno-ekwidensytometrycznej do badania ukształtowania pola temperatur w komorach spalania.

Ukształtowanie pola temperatur w tej metodzie uzyskuje się przez wprowadzenie do mieszanki palnej pierwiastka wizualizującego o dobrych własnościach "światlnych" w zakresie widzialnym widma emisyjnego. Pierwiastek ten promieniował by w dostatecznie wąskim przedziale długości fali świetlnej $\Delta\lambda$ tak, aby jego promieniowanie mogło zostać wyodrębnione od reszty widma przez wąskopasmowy filtr interferencyjny i zarejestrowane na materiale światłoczułym. Dokonanie ekwidensytometrycznej analizy obrazu promieniowania dałoby obraz rozkładu mocy monochromatycznej tego promieniowania, która

Ten sam wykres może być przydatny dla N-krotnie wyższej rodziny temperatur. Wtedy wartości długości fali λ na osi rzędnych dzieli się przez N, a wartości monochromatycznej emitancji promienistej mnoży się przez N^5 .

W prostym modelu teoretycznym ciała doskonale czarnego określenie strumienia mocy promieniowania z elementarnej objętości dV pociąga za sobą konieczność pomiaru rozkładu przestrzennego tej wielkości. Trudność stanowi pomiar i rejestracja promieniowania w bardzo szerokim widmie.

Do tego celu można zastosować omówioną na wstępie metodę rejestracji wielospektralnej, z cyfrowym przetwarzaniem obrazów lub tylko kamery termowizyjne. Obie metody są ko-

jest powiązana równaniem (5) z bezwzględną temperaturą pierwiastka promieniującego. Pomiar temperatury dokonany termoparami stanowiłby podstawę do przeskalowania mapy ekwidensyt na skalę termometryczną.

3. Opis stanowiska badawczego

W celu doświadczalnej weryfikacji tak sformułowanej koncepcji badawczej, zaprojektowano i zrealizowano stanowisko badawcze z komorą spalania opalaną gazem miejskim.

Zasadniczym elementem stanowiska badawczego jest modelowa komora spalania. Została ona wykonana z cylindrycznych segmentów rury kwarcowej o typszeregu długości tak dobranym, aby umożliwił on płynną zmianę długości komory. Pozwala to na kształtowanie cech aerodynamicznych paleniska poprzez dobór długości komory spalania. Pomiędzy cylindryczne elementy szklane umieszczono pięć pierścieni ze stali żarowytrzymałej. Pierścienie zaprojektowano w sposób umożliwiający wprowadzenie zamocowanych przegubowo palników. Na każdym z pierścieni możliwa jest realizacja następujących wariantów rozmieszczeń palników:

- a/ jeden;
- b/ dwa co 180° ;
- c/ cztery co 90° ;
- d/ sześć co 60° .

Każdy z palników można dodatkowo ustawić poprzez obrót w przegubie tak, aby podawał mieszanekę paliwo-powietrzną stycznie do okręgu o średnicy d_0 zmiennej w stosunku do stałej średnicy wewnętrznej komory D_w . Zapewnia to zmienność ilorazu $\frac{d_0}{D_w}$ w przedziale od 0,13 do 0,87. Istnieje również możliwość pochylenia każdego z palników względem osi otworu wprowadzającego o kąt 10° w górę lub w dół.

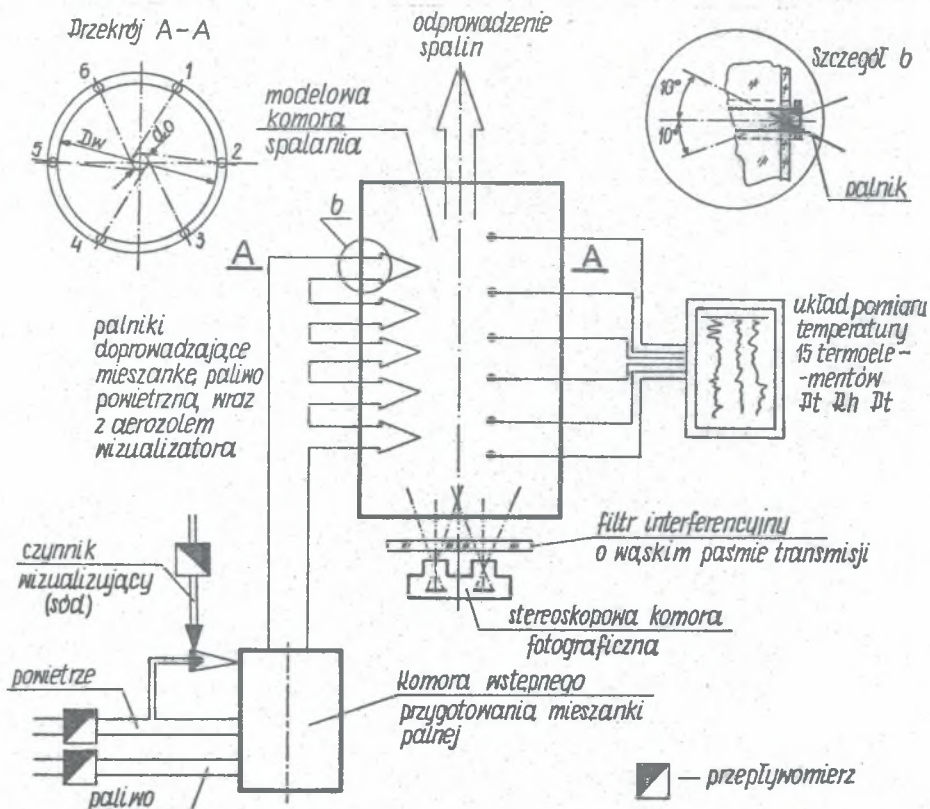
Na wyposażeniu technicznym komory znajdują się również 3 dodatkowe pierścienie ze stali 1H18N9T, umożliwiające wprowadzenie w obszar strefy spalania 15 przesuwanych termoelementów PtRhPt o ϕ 0,25 mm do określania pola temperatur.

Zrealizowana konstrukcja umożliwia liczne modyfikacje modelowej komory spalania poprzez kombinację zmian następujących parametrów konstrukcyjnych:

- a/ ilorazu średnicy wewnętrznej D_w i długości komory l (w przedziale od 0,3 do 2) poprzez zmianę długości l ;
- b/ sposobu odprowadzenia spalin - jednostronny lub dwustronny odpływ;
- c/ zmianę położenia osi komory;
- d/ kierunku i średnicy zawirowania płomienia na długości komory;
- e/ przekrojów wylotowych dla spalin;
- f/ sposobu doprowadzania dodatkowej ilości powietrza.

W komorze przygotowania mieszanki paliwowo-powietrznej doprowadza się czynnik wizualizujący do wstępnie wymieszanego paliwa z powietrzem.

Instalację doprowadzającą paliwo, powietrze i czynnik wizualizujący wyposażono w przyrządy pomiarowe, umożliwiające określenie natężeń przepływu oraz temperatury tych czynników.



Rys.2. Schemat ideowy realizacji pomiaru

Fig.2. Schematic diagram illustrating the principle of the measurement

W badaniach wykorzystywany jest wodny roztwór nasycony NaCl, nazwany wizualizatorem, który po wprowadzeniu do płomienia powoduje intensywne promieniowanie płomienia w zakresie widzialnym widma na długości fali $\lambda = 5890 \text{ nm}$ (złoty dublet sodowy).

Wizualizator zostaje podany ektorowo do komory wstępnego przygotowania mieszanki palnej (poz.2 na rys.2) za pomocą strumieniowego rozdrabniacza cieczy. Aerozol czynnika wizualizującego miesza się w przepływie przeciwnym do napływającej z dołu komory mieszanką palną. Wtrąsnięte mikrokropki posiadają dużą prędkość względną w stosunku do napływającej również z dużą prędkością mieszanki palnej.

W obliczeniach komory wstępnego przygotowania mieszanki palnej oraz przewodów paliwowych posłużono się modelem matematycznym procesu rozpadu kropli cieczy, poruszającej się w powietrzu [2]:

$$D_0 = \frac{56.5}{\nu} \left(\frac{\sigma}{\rho} \right)^{1/2} + 597 \left[10 \left(\frac{\nu}{\sigma \cdot g} \right)^{1/2} \right]^{0.45} \left(1.000 \cdot \frac{Q_v}{Q_a} \right) \quad [\mu\text{m}] \quad (6)$$

gdzie: D_0 - średnica kropli w mikrometrach [10^{-6} m],
 σ - napięcie powierzchniowe cieczy [N/m],

η - lepkość dynamiczna cieczy [$N \cdot s/m^2$],

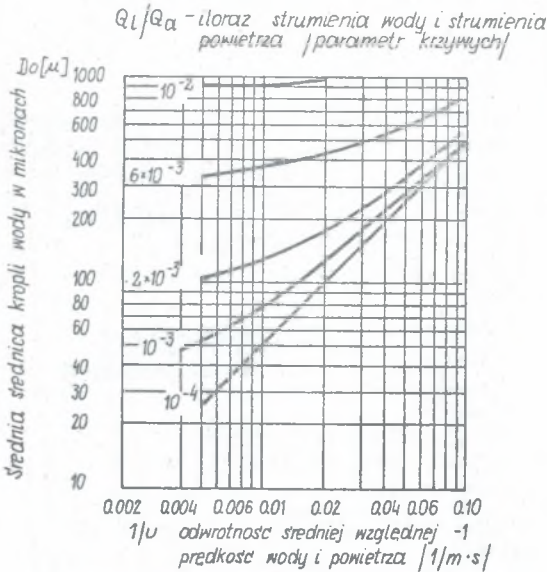
v - względna prędkość przepływu mieszanki palnej względem cieczy [m/s],

ρ - gęstość cieczy [kg/m^3],

Q_L - strumień objętości cieczy [m^3/s],

Q_a - strumień objętości powietrza [m^3/s],

Wyniki otrzymane z wzoru (6) dla wody przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Średnia średnica kropli wody jako funkcja odwrotności względnej prędkości wody i powietrza. Iloraz natężeń przepływu cieczy i powietrza stanowi parametr krzywych [2]

Fig.3. A plot of mean drop diameter for water as a function of the reciprocal of the relative velocity between air and liquid, with the air - liquid volumetric ratio as parametr [2]

4. Opis procedury badawczej

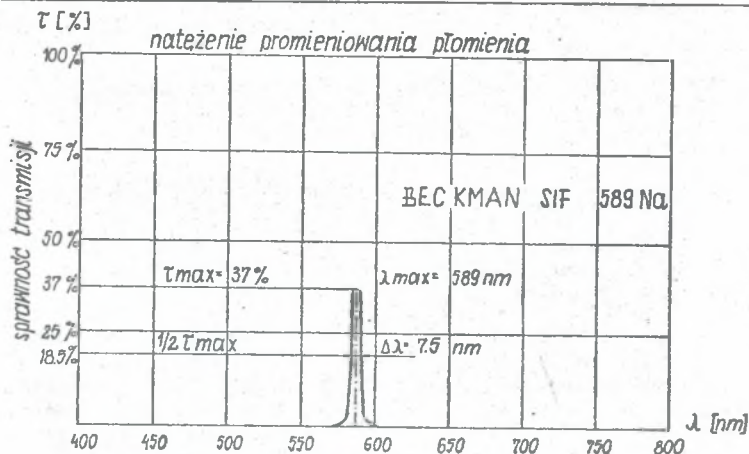
W wirowej komorze spalania realizowane są steroskopowe zdjęcia fotograficzne obrazu płomienia w warunkach ustalonego obciążenia cieplnego komory.

Rejestrację obrazu strefy płomienia prowadzi się poprzez wąskopasmowy filtr interferencyjny f-my Beckman, typ SIF 589 Na. Filtr ten przepuszcza promieniowanie elektromagnetyczne płomienia dla długości fali $\lambda_{max} = 591$ nm ze sprawnością $T_{max} = 37\%$. Połówkowa szerokość pasma przepuszczania $\Delta\lambda = 7,5$ nm

Wykorzystywany do badań filtr posiada maksimum transmisji promieniowania elektromagnetycznego odpowiadającą długości fali świetlnej, na której promieniuje pobudzony termicznie dublet sodowy.

Do wizualizacji energetycznych przemian w płomieniu wykorzystuje się

Cylindryczne wnętrze komory mieszania podzielone zostało na dwie strefy. Dolna pełni rolę strefy mieszania i separacji dużych kropli, górna zaś stanowi kanał "labiryntowy" równomiernie rozprowadzający mieszankę palną wraz z mikrokroplami wizualizatora w kierunku palników.



Rys.4. Własności filtra interferencyjnego BECKMAN SIF 589 Na

Fig.4. Wavelength vs. transmittance curve for a multilayer interference filter BECKMAN SIF 589 Na

szczególne własności "światłne" potasowców. Wokół jąder atomów potasowców krąży jeden elektron tzw. "światłny", pozostałe zaś tworzą zamkniętą warstwę wewnętrzną, biorącą udział dopiero w promieniowaniu rentgenowskim. Wzbudzony termicznie atom sodu Na, zgodnie z regułą wyboru, może powrócić do stanu niewzbudzonego w wyniku przejścia elektronu z $3p^2 \text{ } ^1P_{1/2}$ i $3p^2 \text{ } ^3P_{3/2}$ na $3S^2 \text{ } ^1S_{1/2}$ wysyłając przy tym monochromatyczne promieniowanie światłne, którego natężenie jest proporcjonalne do stanu wzbudzenia.

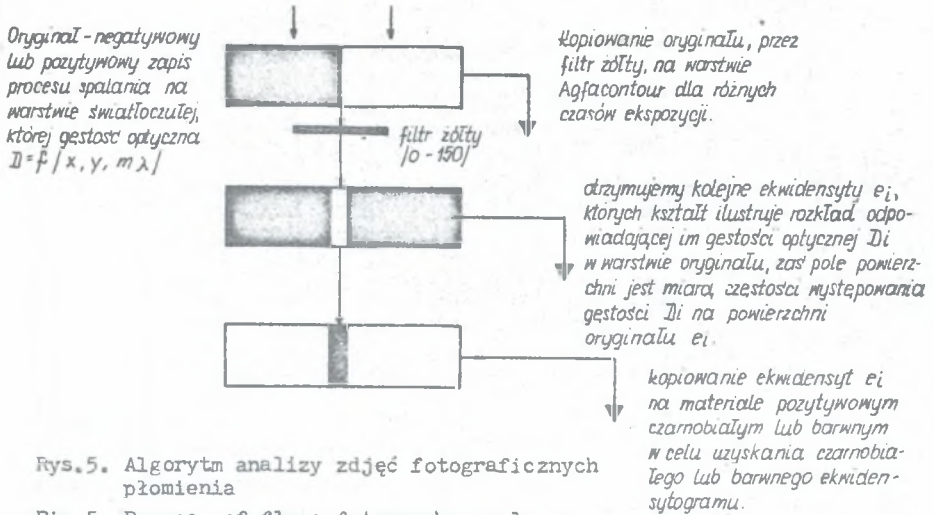
W mieszance palnej, wypływającej z palników komory spalania, utrzymywana jest w trakcie fotografowania płomieni stała w czasie i równomierna dla poszczególnych palników koncentracja aerozolu roztworu wodnego NaCl.

Obecność sodu w gorących gazach spalinowych powoduje intensywne promieniowanie płomienia palników w zakresie widzialnym widma $\lambda_{max} = 589,0 \div 589,59 \mu\text{m}$. Widoczne stają się promieniujące dotąd tylko w podczerwieni strefy gorących gazów spalinowych, co pozwala badać także dynamikę wzajemnego oddziaływania strug, kształt zawirowania płomienia i wypełnienie płomieniem wnętrza komory spalania.

Otrzymane w ten sposób zdjęcia fotograficzne płomienia poddaje się analizie luksometrycznej. Wyznacza się w ten sposób linie stałego natężenia promieniowania płomienia na badanej długości fali λ . Analizę luksometryczną wykonuje się pośrednio poprzez badanie ekwidensytometryczne negatywu zdjęcia fotograficznego. Szczegółowy algorytm analizy zdjęć fotograficznych płomienia przedstawia rys.5.

Do analizy ekwidensytometrycznej wykorzystuje się błonę ekwidensytometryczną Agfacontour. Materiał Agfacontour, wyprodukowany przez firmę Agfa-Gevaert, jest zupełnie nową warstwą światłoczułą, której najistotniejsze zastosowanie wiąże się z dziedziną fotografii naukowo-technicznej w ramach tzw. ekwidensytometrii. Warstwy Agfacontour wymagają jedynie zwykłego toku obróbki fotograficznej, a dodatkową ich zaletą jest możliwość precyzyjnego ustalenia miejsca położenia otrzymanych ekwidensyt oraz zakresów obejmowanych przez nie gęstości optycznych.

Napięcie oświetlenia oryginału $E = \text{const}$ na całej powierzchni oryginału



Błona Agfacontour stanowi mieszaninę emulsji chlorosrebrowej z niewielką ilością nieco bardziej czułej emulsji bromosrebrowej i koloidalnego siarczku srebra. Wskutek takiej budowy warstwy światłoczułej w roztworze wywoływacza zachodzą, zależnie od poziomu naświetlenia, dwa rodzaje procesów wywoływania obrazu utajonego. Niski poziom naświetlenia - nie wystarczający do zainicjowania procesu wywoływania chemicznego - powoduje powstanie srebrowego obrazu pozytywnego w procesie wywoływania fizycznego. Przy wyższych poziomach naświetlenia chlorek srebra, w procesie wywoływania chemicznego, tworzy obraz negatywny. Opisane wyżej procesy ilustruje krzywa charakterystyczna warstwy Agfacontour, przedstawiona na rys.6.

Pomiędzy krzywą pozytywną, a krzywą negatywną, leży tzw. siodło, którego szerokość odpowiada zakresowi naświetleń, przy którym otrzymano ekwiwalenty. Szerokość ekwiwalenty można zmieniać stosując żółte filtry o różnej gęstości (rys.6 i 7). Uzyskuje się to w wyniku wyższej czułości na barwę żółtą pozytywnego emulsji chlorosrebrowej (rys.7). W formie ekwiwalent 1 stopnia można odtworzyć zakres gęstości optycznych wynoszący 0,1.

W zależności od czasu naświetlenia błony Agfacontour, przy kopiowaniu zdjęć fotograficznych otrzymuje się ekwiwalenty odpowiadające różnym gęstościom optycznym kopiowanych zdjęć. Określa to zależność:

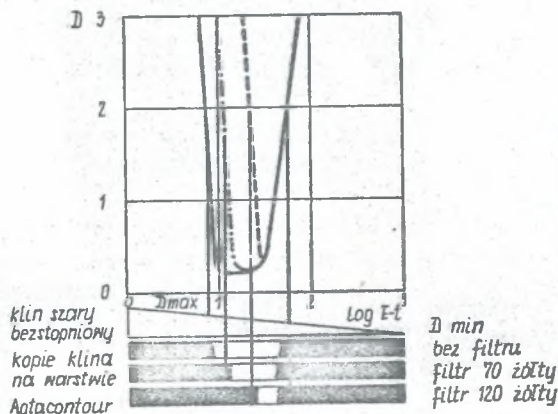
$$t_2 = t_1 \cdot 10^{(D_2 - D_1)}, \quad (7)$$

gdzie: t_1 jest czasem naświetlenia przy gęstości D_1 ,

t_2 jest czasem naświetlenia przy gęstości D_2 .

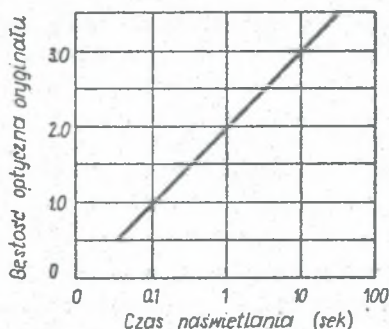
Można zatem otrzymać ekwiwalent odpowiadającą z góry wybranej gęstości optycznej reprodukowanego oryginału. (patrz rys.8).

Krzywe charakterystyczne warstwy Agfacontour



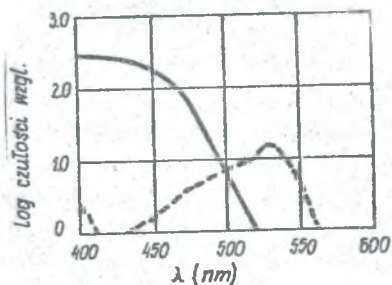
Rys.6. Wpływ gęstości żółtego filtra na szerokość ekwidensyty

Fig.6. The relationship between equidensity width and the yellow filter factors



Rys.8. Położenie ekwidensyty w zależności od czasu naświetlania

Fig.8. The position of an equidensity can be changed within the density range of an original by altering the exposure

Rys.7. Czułość spektralna materiału Agfacontour
Linia: -1 część pozytywna krzywej charakterystycznej, -2 część negatywowa krzywej charakterystycznejFig.7. Colour sensitivity of the Agfacontour emulsion.
Line: -1 positive part of characteristic curve, -2 negative part of characteristic curve

Powstałe mapy ekwidensytometryczne natężenia promieniowania płomienia porównuje się z wynikami pomiaru temperatury w płomieniu, otrzymanymi z układu pomiarowego. Układ pomiarowy rejestruje w czasie sygnały pomiarowe z 15 termoelementów PtRh Pt, które znajdują się w wybranych obszarach płomienia w chwili wykonywania zdjęć fotograficznych.

Z ekwidensytogramu zdjęcia płomienia wybiera się te ekwidensyty, które przebiegają przez co najmniej dwa miejsca geometryczne w płomieniu, dla których termoelementy wykazały tę samą temperaturę i uważa się je za izotermy tej temperatury. Pozostałe krzywe luksometryczne ekwidensyty przelicza się wzorami (7) i (5) na wartości temperatury proporcjonalne do natężenia promieniowania płomienia, którym one odpowiadają.

Zastosowanie opisanej procedury badawczej pozwala na wystarczająco dokładne zilustrowanie pola temperaturowego wewnątrz komory spalania. Poszcze-

gólne ekwidensyty dostępne są na osobnych kliszach fotograficznych. Zaczernione obszary odpowiadają swą powierzchnią obszarom występowania jednakowej temperatury w przekroju poprzecznym płomienia. Pola powierzchni tych obszarów mogą być łatwo wyznaczone za pomocą badania porównawczego osłabienia strumienia świetlnego.

Wykonywanie zdjęć metodą stereoskopową umożliwia przestrzenne przedstawienie wyników. Można to uzyskać za pomocą pary przeźroczy oglądanej stereoskopowo lub aksonometrycznego rysunku.

Wdrożenie metody analizy chromatyczno-ekwidensytometrycznej do badania pól temperatur i procesów spalania w obiektach energetycznych o skali przemysłowej, może stanowić nowe narzędzie badawcze o niespotykanych dotychczas możliwościach zastosowań. Wymaga to dalszych, pogłębionych prac w tym kierunku.

LITERATURA

- [1] Sale A., Radiacyjna wymiana ciepła, WNT, Warszawa 1982.
- [2] Dean J.A., Flame photometry, Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY, New York 1960.
- [3] AGFA-GEVART AG, Agfacontour Profesional in photographics, Druckschriften-Abteilung, Leverkusen 1982.
- [4] Engel Ch.E., Photography for the Scientist, Academic Press, London and New York 1968.
- [5] Hazer W.G., Engineering and scientific high-speed photography, The Macmillan Company, New York 1963.

ПРИМЕНЕНИЕ ХРОМАТИЧНО-ЭКВИДЕНСИТИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В МОДЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

Резюме

Одним из методов исследования температурного поля в камере сжигания может быть метод, заключающийся в использовании эквиденситометрического анализа фотографического изображения пламени. Применение хроматико-зависимостометрического анализа создает возможность качественной оценке процесса сжигания в точке. Существует также возможность оценки, создаваемой точечной камеры, уже на этапе проектирования. Процесс сжигания проводится в модельной камере сжигания из кремнеземного стекла. Камера спроектирована и изготовлена способом, разрешающим легкое изменение аэродинамики пламени путем изменения длины камеры, а также способа привода топлива и воздуха. Целью наблюдать температурное поле в камеры вводится натрий. Этот химический элемент испускает энергию термического возбуждения с помощью электромагнитической радиоактивности с длиной волны $\lambda = 5890$ нанометра. В представленном методе фиксируется через соответствующий интерференционный фильтр мощность радиоактивности монохроматического натрия. Фиксирование производится на фотографических изображениях пламени, произведенных стереоскопическом методом. В дальнейшем съемки пламени поддаются люксометрическому анализу, который выполняется посредственно путем эквиденситометрического анализа изображения с применением пленки Агфаконтур. Во время фотографирова-

ния проводятся измерения температуры в избранных точках пламени и на их основе корректируются расчеты эквиденсит на изотермы. Съемки стереоскопическим методом дают возможность пространственной разработке результатов. Внедрение метода хроматико-эквиденситометрического анализа для исследования полей температур и процессов сжигания в энергетических устройствах в промышленном масштабе, может представлять собой исследовательское орудие с большими возможностями применения.

APPLICATION OF THE CHROMATOGRAPHIC-EQUIDENSITOMETRIC ANALYSIS FOR STUDYING OF THERMAL FIELDS IN THE MODEL COMBUSTION CHAMBER

S u m m e r y

One of the methods for studying the thermal field in combustion chamber is to employ the equidensitometric analysis of flame photographic images. Using the chromatographic-equidensitometric analysis renders the qualitative estimation of the combustion process possible. Besides, it is possible to shape the combustion chamber already at the design stage. The combustion process is carried out in a model combustion chamber made of quartz glass. The chamber was so designed that it was possible to easily change the aerodynamics of the flame by simply changing the length of the chamber or the way in which fuel and air were supplied.

To analyze the thermal field, sodium was fed to the chamber. This chemical element emits the energy of thermal excitation through the electromagnetic radiation of $\lambda = 598 \mu\text{m}$ wavelength.

In the method presented, the power of sodium monochromatic radiation is registered by a proper interference filter. This registration is done on flame photographic images taken with stereoscopic method. Then, the images of the flame are luxmeter analyzed which is performed, indirectly, through the equidensitometric analysis of the photos using Agfaconteru film. During taking the photos, temperature is measured at chosen points of the flame and then, on this basis, corrections are introduced to recalculating from equidensits to isotherms. Stereoscopic method of photo-taking makes spatial processing of the results possible.

Chromatographic-equidensitometric analysis may provide a very useful and widely applicable tool in studying thermal fields and combustion processes in industrial scale power installations.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik Cwynar

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1986 r.