

Zbigniew LESZCZYŃSKI

Instytut Maszyn Przepływowych
Politechnika Łódzka

BADANIA STRUKTURY ROZPYLONEJ STRUGI CIECZY PRZY WYKORZYSTANIU HOLOGRAFII

Streszczenie: W pracy przedstawiono sposób określania i wyniki pomiarów niektórych parametrów mikrostruktury rozpylonej strugi cieczy. Pomiarów mikrostruktury dokonano wykorzystując w tym celu holografię. Przedstawiono korzyści wynikające ze stosowania tej metody, jak również wynikające z niej niektóre trudności.

1. Wstęp

Pomiary struktury rozpylonej strugi cieczy są bardzo trudne. Trudności te wynikają z dużej ilości wytworzonych kropeł, szerokiego zakresu ich wymiarów, dużej i zróżnicowanej prędkości kropeł, jak również zmiany kształtów i wymiarów kropeł podczas badań itp. Dotychczas nie ma metody uniwersalnej, która pozwalałaby na uzyskanie jednocześnie: dużej dokładności pomiarów, niezakłócenia rozpylonej strugi w czasie pomiarów, niskich kosztów aparatury, czy małej pracochłonności pomiarów.

Wszystkie metody pomiarowe można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- grupa metod kontaktowych,
- grupa metod bezkontaktowych.

W grupie metod bezkontaktowych można wyróżnić następujące metody, które charakteryzują się brakiem bezpośredniego kontaktu z kroplami w miejscu pomiaru; są to różne odmiany metod fotograficznych:

- metoda mikrofotografii sy. wetkowej,
- metoda fluorescencyjna,
- metoda separacji kropeł,
- metoda dyfrakcyjna,
- metoda holografii.

W pracy przedstawiono pomiary struktury rozpylonej strugi cieczy przy wykorzystaniu holografii. Hologram w odróżnieniu od zwykłej fotografii daje obraz trójwymiarowy, otrzymuje się więc przestrzenne rozmieszczenie kropeł, a nie tylko ich same wymiary jak w innych metodach. Dzięki tej własności mamy możliwość uzyskania - po analizie hologramu - całego szeregu informacji dotyczących rozpylonej strugi cieczy, takich jak: widma rozpylenia, zastępczych średnic kropeł, promieniowego rozkładu średnic

kropel, promieniowego rozkładu objętości rozpylonej cieczy, koncentracji kropel itp.

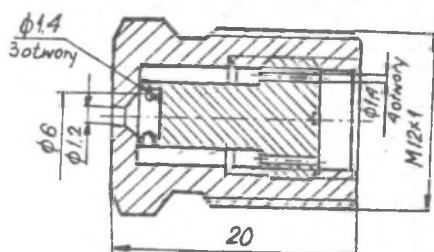
W pracy zostaną przedstawione wyniki pomiarów wyżej wskazanych parametrów rozpylonej strugi cieczy.

2. Badania holograficzne

2.1. Przedmiot badań

Do badań mikrostruktury rozpylonej strugi cieczy użyto rozpylacza wirowego charakteryzującego się bardzo dobrą równomiernością obwodową (odchyłki mniejsze od 20%).

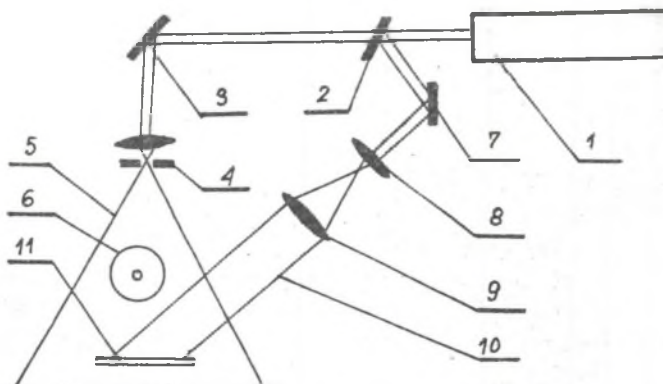
Na rysunku 1 przedstawiono przykładowo jeden z rozpylaczy wirowych użytych do badań.



Rys. 1. Badany rozpylacz wirowy

2.2. Holograficzne badania struktury rozpylonej strugi cieczy

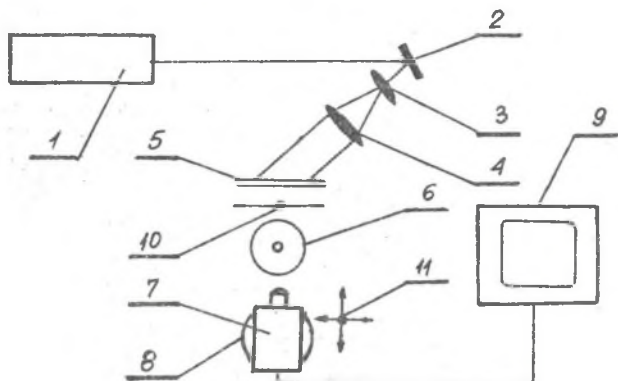
Hologramy rozpylonej strugi cieczy wykonane zostały na specjalnym stoisku w Centralnym Laboratorium Optyki. Schemat tego stoiska przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat stoiska do wykonywania hologramów rozpylonej strugi cieczy: 1 - laser impulsowy, 2 - zwierciadło półprzepuszczalne, 3, 7 - zwierciadło, 4 - soczewka z przysioną „pinhole”; 5 - wiązka robocza, 6 - rozpylana struga, 8, 9 - soczewka, 10 - wiązka odniesienia, 11 - hologram

Hologramy zostały wykonane dla trzech wartości nadciśnienia przed rozpylaczem $\Delta p = 1 \cdot 10^5, 2 \cdot 10^5, 3 \cdot 10^5$ [Pa]. Czynnikiem rozpylanym była woda.

Tak wykonane hologramy były odtwarzane i analizowane na stoisku przedstawionym schematycznie na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat stoiska do odtwarzania hologramów: 1 - laser He - Ne, 2 - zwierciadło, 3, 4 - soczewka, 5 - hologram, 6 - obraz rzeczywisty rozpylonej strugi, 7 - kamera telewizyjna, 8 - stolik wspólrzędnościowy, 9 - monitor telewizyjny, 10 - kierunki przesuwu hologramu, 11 - kierunki przesuwu kamery

Opracowanie polegało na pomiarzeniu wymiarów i liczby kropeł w określonych dwóch płaszczyznach i na tej podstawie wyznaczenie wskazanych parametrów. Obrane płaszczyzny pomiarowe przyjęto w odległości I - 45 mm, II - 65 mm od wylotu z rozpylacza, czyli w odległościach zapewniających całkowite uformowanie się kropeł.

Badany rozpylacz posiada wysoką równomierność obwodową, dlatego też w każdej płaszczyźnie wybrano tylko pewien obszar obserwacji. Obszar ten sondowano za pomocą kamery telewizyjnej, zmieniając współrzędne wzdłuż dwóch prostopadłych kierunków. Zapewniało to zliczenie (analizę) wszystkich kropeł w danym obszarze. Schemat sondowania obszaru obserwacji oraz jego wielkość przedstawiono na rysunku 4.

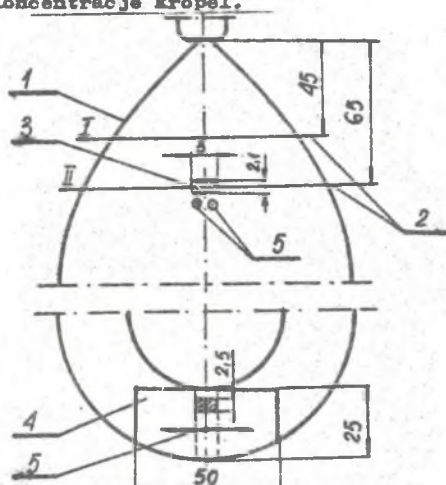
Wymiary jednostkowego obszaru obserwacji wynikają z wymiarów monitora telewizyjnego i sumarycznego powiększenia wynoszącego 200 x.

Krople znajdujące się w obszarze obserwacji są na ekranie monitora bardzo wyraźne (ostre) i posiadają w środku jasno świecącą plamkę. Krople te były mierzone za pomocą przymiaru liniowego. Każdą kroplę przyporządkowano do odpowiedniego zakresu średnic. Z uwagi na to, że układ pomiarowy zapewniał powiększenie 200 x, przyjęto szerokość przedziału średnic równą $25 \mu\text{m}$. Ustalono w związku z powyższym 16 przedziałów średnic i tak: $0 + 25 \mu\text{m}, 26 + 50 \mu\text{m} \dots 376 + 400 \mu\text{m}$. Krople powyżej $400 \mu\text{m}$ dla danego rozpylacza nie występują.

Na podstawie pomiarów wyznaczono następujące parametry:

- procentową liczbę kropeł w danym przedziale, czyli $\Delta \bar{n}_i = \Delta n_i / N =$

- $= \Delta n_1 / \sum \Delta n_1$ dla każdej wielkości nadciśnienia przed rozpylaczem,
- krzywą sumaryczną rozkładu ilościowego kropeł,
- średnie średnice kropeł,
- promieniowy rozkład średnic kropeł,
- promieniowy rozkład objętości rozpylonej cieczy,
- koncentracje kropeł.

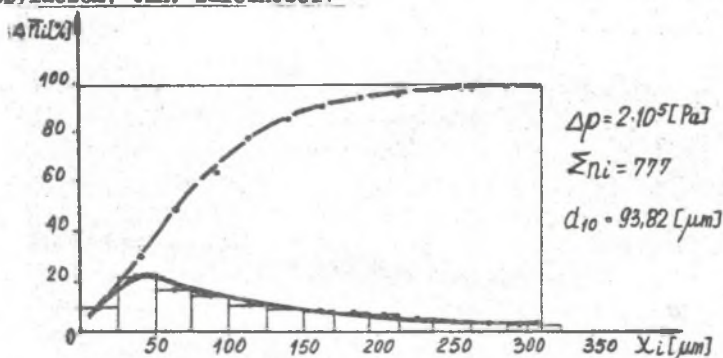


- 1 - rozpylona struga cieczy
- 2 - płaszczyzny pomiarowe
- 3 - jednostkowy obszar obserwacji
- 4 - wybrany obszar obserwacji
- 5 - kierunki przesuwu jednostkowego obszaru obserwacji

Rys. 4. Schemat sondowania wybranego obszaru płaszczyzny pomiarowej

2.3. Wyniki pomiarów

Z przebadanych kilku rozpylaczy przedstawiono przykładowo wyniki pomiarów niektórych parametrów rozpylonej strugi cieczy dla jednego z rozpylaczy. Wyniki pomiarów tych parametrów przedstawiono na rysunkach, i tak na rysunku 5 przedstawiono funkcję ilościowego rozkładu oraz krzywą sumaryczną rozkładu ilościowego kropeł, zaś na rysunku 6 zależność między zastępczymi średnimi średnicami kropeł a wielkością nadciśnienia przed rozpylaczem, tzn. zależności:



Rys. 5. Funkcję ilościowego rozkładu kropeł i krzywą sumaryczną rozkładu ilościowego kropeł

d_{10} - średniej arytmetycznej średnicy kropeł

$$d_{10} = \frac{\sum x_i \cdot \Delta n_i}{\sum \Delta n_i} = f(\Delta p),$$

d_{20} - średniej powierzchniowej, średnicy kropeł

$$d_{20} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 \cdot \Delta n_i}{\sum \Delta n_i}} = f(\Delta p),$$

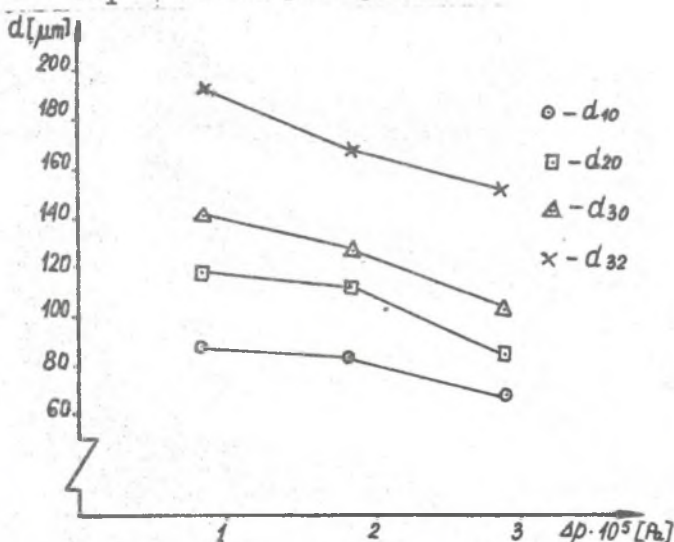
d_{30} - średniej objętościowej średnicy kropeł

$$d_{30} = \sqrt[3]{\frac{\sum x_i^3 \cdot \Delta n_i}{\sum \Delta n_i}} = f(\Delta p),$$

d_{32} - średniej średnicy Sautera

$$d_{32} = \frac{\sum x_i^3 \cdot \Delta n_i}{\sum x_i^2 \cdot \Delta n_i} = f(\Delta p),$$

gdzie: x_i - średnia średnica z przedziału,
 Δn_i - liczba kropeł w przedziale.



Rys. 6. Zależność średnic średnic kropeł od spadku ciśnienia przed rozpylaczem

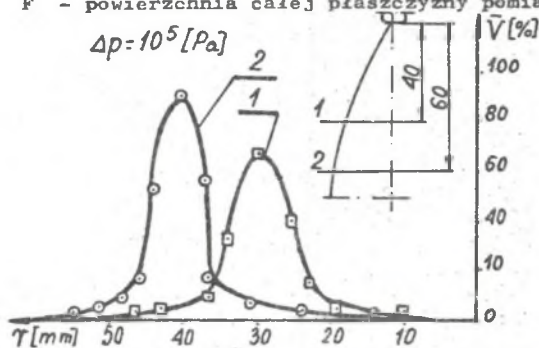
Na rysunku 7 przedstawiono zmianę objętości rozpylonej strugi cieczy wzdłuż promienia, a na rysunku 8 promieniowy rozkład średnic średnic kropeł.

Na rysunku 9 przedstawiono zmianę koncentracji kropeł w funkcji zmian naciśnienia przed rozpylaczem. W tym przypadku koncentrację określa się jako:

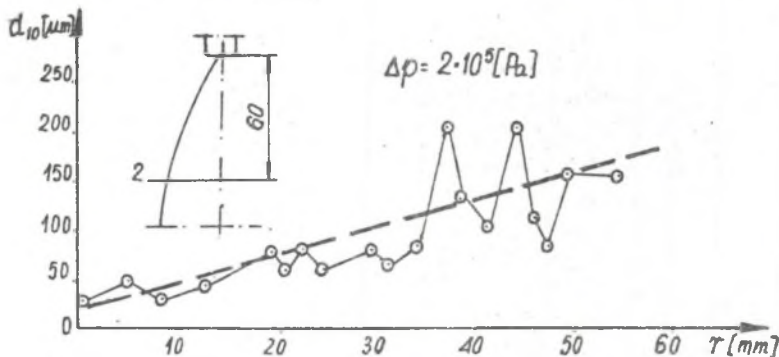
$$\frac{\sum F_k}{F} = \bar{k},$$

gdzie: $\sum F_k$ - suma powierzchni rzutu wszystkich kropeł na płaszczyznę pomiarową,

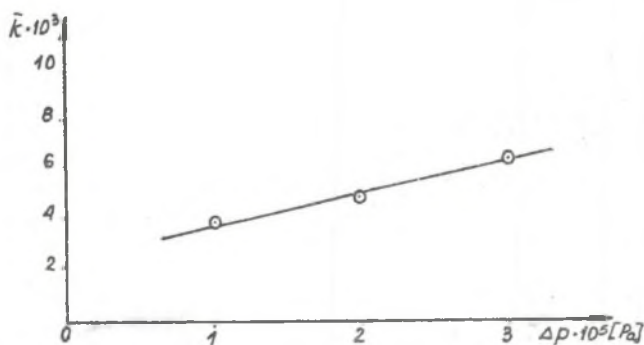
F - powierzchnia całej płaszczyzny pomiarowej.



Rys. 7. Zmiana objętości rozpylonej cieczy wzdłuż promienia rozpylonej strugi



Rys. 8. Promieniowy rozkład średnic średnic kropeł



Rys. 9. Zmiana koncentracji kropeł w zależności od spadku nadciśnienia przed rozpylaczem

3. Zakończenie

Analizując przedstawione wyniki badań można stwierdzić, co następuje:

1. Metoda holografii posiada wiele zalet, a mianowicie daje obraz przestrzenny, z którego można uzyskać każdą ilość informacji, pozwala na wielokrotne odtwarzanie "zamrożonego" obrazu kropeł i zapewnia wysoką dokładność pomiaru (powtarzalność wyników).

2. Jednym z największych problemów metod fotograficznych, a wśród nich i metody holograficznej jest określenie wymiarów kropeł. Krople widoczne na monitorze - chociaż dosyć ostre - jednak sprawiają trudność przy określaniu ich zarysu, gdyż kontur ich zlewa się z tłem. Szczególnie trudne jest wyszukiwanie kropeł o małych wymiarach, gdyż giną one w tle hologramu.

3. Metoda holografii, jak każda z metod fotograficznych, ma również pewne ograniczenia, do których zaliczamy:

- wielkość mierzonych kropeł od 2 μm ,
- prędkość ruchu kropeł do około 100 m/s,
- maksymalna koncentracja kropeł w granicach $10^3 + 10^5/\text{cm}^3$ bądź $\bar{k} < 0,1$,
- głębokość holografowanej próbki 5 + 20 cm.

4. Ze względu na czasochłonność i zmęczenie wzroku dla usprawnienia badań konieczne jest stosowanie zautomatyzowanego układu zliczania kropeł. Często do pomiaru kropeł używa się przyrządu zwanego quantimetrem, który jednak jest mało przydatny ze względu na zbyt małą ostrość analizowanych obrazów.

5. Ważną zaletą w badaniach holograficznych jest możliwość zastosowania holografii dwuimpulsowej - można wtedy dokonywać badań dynamiki ruchu kropeł, a więc określić prędkości kropeł, trajektorie kropeł itp. Pierwsze próby dla naszego użytku zostały wykonane i dalej będą kontynuowane, pozostaje tylko problem interpretacji wyników.

Literatura

- [1] Doskonalenie metod i urządzeń do badania transportu masy i energii z uwzględnieniem warunków niestacjonarnych (Praca zbiorowa) Archiwum Prac IMP - 823 i IMP - 845. Politechnika Łódzka 1982 i 1983 r.
- [2] Orzechowski Z.: Rozpylanie cieczy. WNT, Warszawa 1976.
- [3] Pluta M. (red.): Holografia optyczna. PWN, Warszawa 1980.
- [4] Быков В.Н. Лаврентьев М.Е.: Измерение скоростей капель в двухфазном потоке - Инженерно-физический журнал 1972г. ноябрь том XVIII №5.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ РАСПЫЛЕННОЙ СТРУИ ЖИДКОСТИ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОМОГРАФИИ

Р е з ю м е

В работе указано способ определения и результаты измерения некоторых параметров микроструктуры распыленной струи жидкости. Измерения микроструктуры сделано используется гомографический метод. Указано выгоды вытекающие о этой методы, а также некоторые трудности этих исследований.

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE OF LIQUID SPRAY
BY HOLOGRAPHIC METHOD

S u m m a r y

The description method of some liquid spray microstructure parameters and results of measurements are presented. The measurements were performed by holographic method. Some advantages and difficulties of presented experimental method are emphasized.