

Jerzy WIEJACHA

Politechnika Warszawska, Ośrodek Naukowo-Dydaktyczny, Płock

BADANIA EKSPERYMENTALNE PRZEPIYU CIECZY ZBIERANEJ ADHEZYJNIE

Streszczenie. Przedstawiono badania wizualizacyjne adhezyjnego zbierania walcem oleju maszynowego, tworzącego warstwę na powierzchni wody. Określono kształty menisków dynamicznych oraz tory cząstek wody pod warstwą cieczy zbieranej. Posługiwano się kamerą wideo. Obszar przepływowy wyodrębniano przez zastosowanie „noża świetlnego”. Obrazy zapisane na taśmie magnetycznej były poddawane obróbce programem komputerowym. Analiza wyników pozwoliła lepiej poznać przebieg zbierania adhezyjnego.

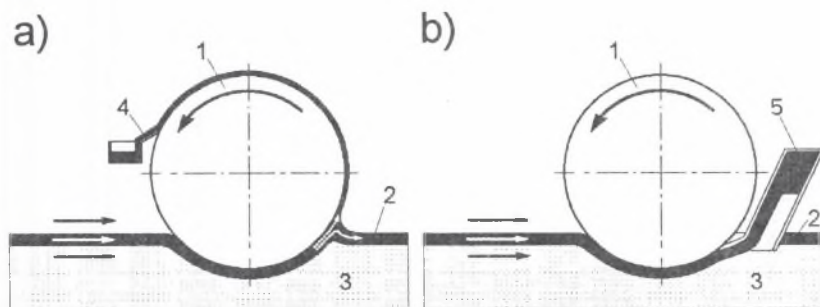
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LIQUID FLOW IN ADHESION REMOVAL

Summary. Visualisation experiments concerned with adhesion skimming of oil from a layer formed on water surface are presented. For a cylindrical skimmer, the shapes of dynamic meniscus and trajectories of water particles below the skimmed oil layer were determined. The flow regions of interest were monitored using a video camera and light sheet system. Video records were processed using a computer aided imaging system. The results contribute to a better understanding of flows characteristic of adhesion skimming.

Wprowadzenie

Zbieranie adhezyjne, wykorzystujące zjawisko przylegania cieczy do zanurzającej się powierzchni ciała stałego w postaci na przykład taśmy, walca, tarczy, jest jedną z najskuteczniejszych metod mechanicznego usuwania warstwy cieczy znajdującej się na powierzchni wody. Zasada działania zbieraków adhezyjnych jest dość prosta, jednak przebieg zbierania, zachodzące w nim przepływy są złożone z powodu występujących najczęściej jednocześnie różnych wzajemnych oddziaływań kilku faz. Konieczne jest zatem prowadzenie wielostronnych badań eksperymentalnych tej metody zbierania, tym bardziej że istnieją tylko uproszczone modele teoretyczne, które w sposób zadowalający opisują prostsze przypadki przepływowe, kiedy można pominąć większość oddziaływań. Również zastosowanie metod

numerycznych nie pozwala skutecznie analizować bardziej złożonych przypadków tego procesu, a uzyskane wyniki wymagają weryfikacji eksperymentalnej, ponieważ jest to nietypowy problem teoretyczny.



Rys. 1. Walcowy zbierak adhezyjny z odbiorem: a – w powietrzu, b – pod wodą cieczy zbieranej, 1 – walec, 2 – warstwa zbieranej cieczy, 3 – woda, 4 – skrobak, 5 – zbiornik ze skrobakiem

Fig. 1. The adhesive cylinder skimmer with the removal of skimmed liquid: a – above free-surface, b - below water surface, 1 – cylinder, 2 – layer of skimmed liquid, 3 – water, 4 – scraper, 5 – scraper combined with a tank

Zależności teoretyczne uzyskane na drodze analitycznej (lub głównie analitycznej) wykazują dobrą zgodność z danymi eksperymentalnymi w określonych granicach wartości parametrów prowadzenia zbierania, kiedy proces ten można w przybliżeniu potraktować jako przepływ jednofazowy tylko cieczy zbieranej. W praktyce oznacza to przede wszystkim małe i średnie prędkości liniowe powierzchni zbierającej, a także odpowiednio grube warstwy cieczy zbieranej na wodzie. W opisie adhezyjnego zbierania z odbiorem nadwodnym wykorzystuje się zależności wyprowadzone przy założeniu, że przepływ jest laminarny i powierzchnia ciała stałego wynurza się z obszaru całkowicie wypełnionego cieczą zbieraną ([1, 2]). Przy wynurzającej się ścianie występuje menisk dynamiczny, w którym formuje się film zbieranej cieczy. Powyżej niego grubość filmu jest praktycznie stała i rozkład prędkości oraz jednostkową objętościową wydajność przepływu określają wzory:

$$\Gamma = u_{sc} \cdot h_o - \frac{\rho \cdot g \cdot h_o^3}{3\mu} \sin \alpha \quad (1)$$

$$u = u_{sc} - \frac{\rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{\mu} \left(h_o \cdot y - \frac{y^2}{2} \right) \quad (2)$$

gdzie: u i u_{sc} - prędkości cieczy i powierzchni ściany, ρ - gęstość cieczy, g - przyspieszenie ziemskie, α - kąt pochylenia ściany względem poziomu, μ - lepkość dynamiczna cieczy, h_o - grubość ustalona filmu, y - współrzędna prostopadła do powierzchni ściany, Γ - jednostkowa wydajność (na jednostkę szerokości ściany).

Na podstawie analizy krzywizn dla strefy przepływowej (przyściennej) i cyrkulacyjnej (spływowej) wynurzeniowego menisku dynamicznego wyprowadza się przybliżone równania określające grubość ustaloną h_o filmu. Posiadają one różny stopień komplikacji w zależności od liczby przyjętych założeń upraszczających przy ich wyprowadzeniu.

W opisie teoretycznym adhezyjnego zbierania z odbiorem podwodnym przyjmuje się również laminarny przepływ dwufazowy cieczy w miejscu zanurzenia powierzchni ściany. Poniżej granicy międzyfazowej, w obszarze cieczy dolnej formuje się na płaszczyźnie film cieczy górnej o stałej grubości. W menisku powstającym w miejscu zanurzenia się elementu zbierającego decyduje się wydajność procesu podwodnego zbierania. Przy tworzeniu modelu teoretycznego w celu określenia wydajności wykorzystano podobieństwo do przepływu jednofazowego w miejscu wynurzenia. Tak więc jednostkową objętościową wydajność przepływu w filmie podwodnym określają wzory:

$$\Gamma = u_{sc} \cdot h_{od} - \frac{(\rho_d - \rho_g) \cdot g \cdot h_{od}^3}{3\mu} \sin \alpha \quad (3)$$

gdy uwzględniamy oddziaływanie siły wyporu w ustalonym filmie podwodnym oraz:

$$\Gamma = u_{sc} \cdot h_{od} \quad (4)$$

gdy przyjmujemy w przybliżeniu liniowy (łukowy) rozkład prędkości (brak siły wyporu), gdzie indeksy: d i g dotyczą odpowiednio cieczy dolnej i górnej, a od - filmu w obszarze cieczy dolnej (wody).

Podobnie jak w przypadku wynurzenia się ściany, na podstawie przybliżonej analizy menisku dynamicznego wyprowadza się równania określające grubość ustaloną h_{od} filmu podwodnego. Posiadają one różny stopień komplikacji, w zależności od liczby przyjętych założeń upraszczających przy ich wyprowadzeniu.

W przypadku zbierania za pomocą walca za obliczeniowy kąt pochylenia powierzchni zbierającej przyjmuje się kąt między styczną do okręgu walca w punkcie jego przecięcia z linią lustra cieczy (powierzchni swobodnej) a poziomem.

Przedstawiane badania eksperymentalne miały na celu wizualizację przepływów występujących w adhezyjnym zbieraniu. Umożliwiły one określenie kształtów powierzchni

międzyfazowych typu ciecz-ciecz i ciecz-gaz (menisków dynamicznych), a więc także grubości lokalnych tworzącego się filmu zbieranej cieczy oraz torów elementów wody w miejscach zanurzenia i wynurzenia elementu zbierającego (rys.1). Miały one charakter badań wstępnych, w których dobierano optymalne warunki rejestrowania obrazów i sprawdzano skuteczność nowych metod pomiarowych. Informacje te są potrzebne do dobrego poznania przebiegu adhezyjnego zbierania i zrozumienia przyczyn, powodujących zmniejszanie wzrostu wydajności i czystości zbieranej cieczy wraz ze wzrostem prędkości liniowej elementu zbierającego. Posługiwano się laboratoryjnym aparatem z walcowym elementem roboczym o średnicy 188 mm i długości 140 mm, który zbierał mieszaninę olejów maszynowych, tworzącą ciągłą warstwę o określonej grubości na powierzchni wody (rys.1).

W swoich badaniach posłużono się po raz pierwszy techniką filmowania kamerą wideo (camcorder SONY CCD-F555E, obiektyw – zoom 1:8,5/1,6÷85 mm), połączoną z komputerową obróbką uzyskanych obrazów. Obrazy były zapisywane na taśmie w standardzie Video8. Następnie były one po podłączeniu kamery do komputera z procesorem PENTIUM 133 MHz, wyposażonego w specjalizowaną kartę graficzną (SPEA SHOWTIME PLUS), poddawane obróbce za pomocą programu Multiscan w.5.10 oraz za pomocą innych programów w tym graficznych, edytujących obrazy bitmapowe.

Kształty menisków dynamicznych i grubość filmu

Wydajność zbierania adhezyjnego bezpośrednio zależy przede wszystkim od grubości filmu zbieranej cieczy, tworzącego się na powierzchni zbierającej ([1,2]). Grubość ta w obszarze wody i w powietrzu ustala się w meniskach dynamicznych formujących się w miejscu zanurzenia i wynurzenia elementu zbierającego, gdzie przecina on kilkakrotnie powierzchnie międzyfazowe typu: powietrze-ciecz oraz ciecz-woda. Zatem przepływy cieczy w meniskach dynamicznych mają podstawowe znaczenie dla osiągniętej wydajności adhezyjnego zbierania.

Pomiary rozpoczęto od określania lokalnej grubości filmu cieczy w powietrzu i w wodzie. W tym celu zastosowano rzutowanie małej plamki świetlnej na powierzchnię walcową elementu zbierającego. We wstępnych próbach wykorzystywano rzutnik pisma z lampą halogenową o nominalnej mocy 350 W z założoną maską z prostokątnym otworem

o wymiarach 1 x 2 mm. Warunkiem koniecznym uzyskania zadowalających wyników było zapewnienie maksymalnego zaciemnienia pomieszczenia w celu zarejestrowania odpowiednio kontrastowego obrazu filmowego. Pomiar grubości filmu był pośredni. Najpierw plamkę świetlną rzutowano na wybrane, stałe w danej serii pomiarowej, miejsce czystej powierzchni nieruchomego walca, aby uzyskać możliwość określenia współrzędnych odniesieniowych. Filmowano wówczas także wzorec wymiarowy. Następnie uruchamiano zbierak i przy ustalonej prędkości obrotowej oraz grubości warstwy cieczy na wodzie (wynosiła ona ok. 20 mm) rzutowano w to samo miejsce plamkę, tym razem na powierzchnię filmu cieczy zbieranej. Cieczą zbieraną była mieszanina olejów maszynowych o gęstości 860 kg/m^3 , lepkości dynamicznej $0,070 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ i napięciu powierzchniowym $0,0174 \text{ N/m}$ w temperaturze 24°C . Była ona w małym stopniu przezroczysta, dzięki czemu na jej powierzchni obserwowano pojedynczy dość wyraźny obraz plamki świetlnej. Wybrane zarejestrowane klatki filmu były poddawane obróbce za pomocą programu Multiscan. Najpierw przekształcano obrazy na czarno-białe jednobitowe i zapisywano w formacie .BMP, dobierając tak parametry, aby uzyskać kontrastowy czysty widok plamki świetlnej. Następnie analizowano je za pomocą funkcji programowych. Program oblicza z dużą dokładnością parametry geometryczne rozpoznanych, zamkniętych obszarów powierzchni o wyraźnej granicy rozdziału i umożliwia ich prezentację w postaci wykresów oraz zapisuje je w postaci uporządkowanego zbioru tekstowego, dzięki czemu można je ewentualnie analizować później za pomocą innych programów komputerowych. W przedstawianych badaniach interesujące były tylko współrzędne środków ciężkości plamek świetlnych. Na podstawie przemieszczeń środków ciężkości plamek na filmach cieczowych w stosunku do środka plamki na suchej powierzchni walca i znajomości skali analizowanych obrazów oraz geometrii ustawienia urządzeń pomiarowych obliczano mierzoną rzeczywistą grubość filmu cieczy w danym miejscu na powierzchni walca.

Miejscową grubość filmu mierzono w powietrzu i pod wodą przy zmiennej prędkości liniowej walca w granicach od $0,039$ do $0,162 \text{ m/s}$. W przypadku filmu w powietrzu zmierzone grubości wynosiły od ok. $0,4$ do $0,9 \text{ mm}$, a błąd pomiaru $15\pm 20\%$. W przypadku filmu podwodnego grubości wynosiły od ok. $2,7$ do $5,0 \text{ mm}$, przy błędzie ok. 10% . Zaobserwowane różnice między danymi eksperymentalnymi a obliczeniowymi na podstawie przybliżonych zależności teoretycznych ([1, 2]) mieszczą się lub nieco przekraczają zakresy błędów podanych powyżej.

Dość duże błędy pomiarowe wynikały głównie z:

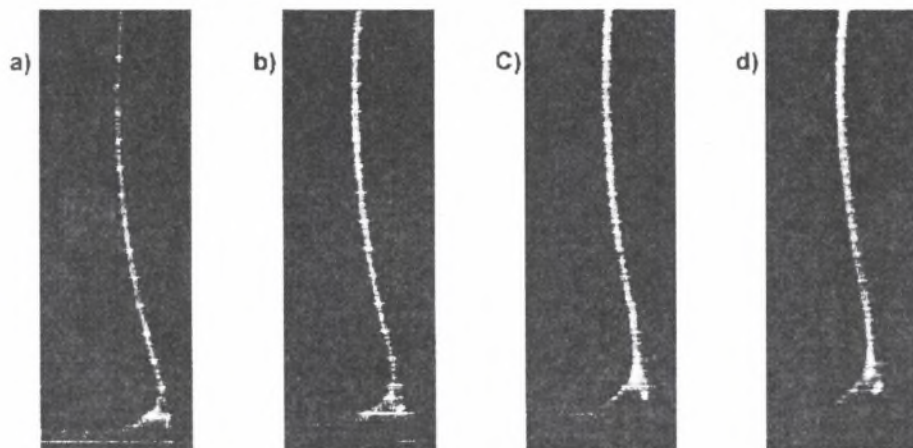
- małej, jak na potrzeby, rozdzielczości optycznej zastosowanej kamery, która pracuje w standardzie PAL,
- braku możliwości zbliżenia kamery do miejsca pomiaru,
- niedoskonałego źródła oświetlenia.

Grubość filmu podwodnego była obarczona mniejszym błędem, mimo gorszej jakości obrazów z powodu zwiększonego pochłaniania światła, ponieważ była ona przeciętnie aż 5 razy większa od filmu w powietrzu.

W pomiarach kształtów menisków dynamicznych zastosowano płaszczyznę świetlną („nóż świetlny”) o szerokości w obszarze pomiaru ok. 2 mm. W próbach wytwarzano ją za pomocą rzutnika pisma o nominalnej mocy 580 W z założoną maską z otworem szczelinowym o szerokości 1 mm oraz wykonanym samodzielnie oświetlaczem z lampą halogenową typu rurkowego o mocy 1000 W i zespołem trzech szczelin z możliwością późniejszej zabudowy soczewki cylindrycznej. Pionowo ustawioną płaszczyznę świetlną oświetlano w kierunku poziomym obszar wynurzania i zanurzania walca.

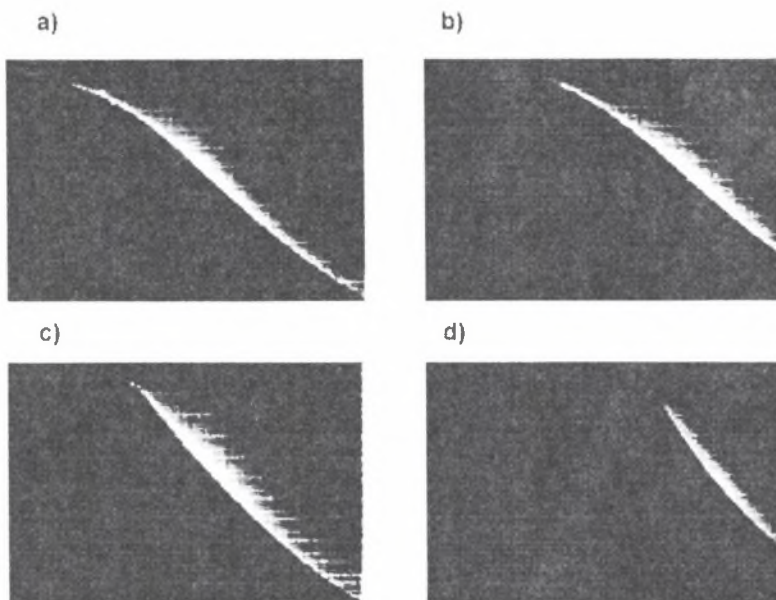
Jeżeli „nóż świetlny” przecinał film cieczy w pobliżu krawędzi bocznej walca, to cały przekrój poprzeczny filmu na walcu był podświetlony, co można zaobserwować na przykładowych obrazach na rys. 2 i 3. W przypadku menisków dynamicznych w powietrzu w miejscu wynurzania ich rozmiary rosły wraz ze zwiększaniem prędkości liniowej walca. W przypadku menisków dynamicznych podwodnych w miejscu zanurzania zmiany kształtu były bardziej złożone. Najpierw rosły razem ze wzrostem prędkości, potem malały w kierunku poziomym u podstawy, a grubość u szczytu prawie nie zwiększała się. Było to wynikiem niedostatecznego napływu cieczy zbieranej w warstwie na powierzchni wody. Dodatkowo efekt ssący powierzchni zbierającej przy dużej prędkości zbierania powodował, że powierzchnia rozdziału woda-ciecz zbierana wyginała się do góry, co widać na rys. 3 c i d (niestety, niezbyt wyraźnie z powodu niedostatecznego oświetlenia). Dzięki zastosowaniu nowej techniki pomiarowej po raz pierwszy zaobserwowano takie zjawisko w adhezyjnym zbieraniu.

Na rys. 4 przedstawiono z kolei przykładowe obrazy kształtów menisków dynamicznych w powietrzu i pod wodą przy poziomym rzutowaniu płaszczyzny świetlnej w pobliżu środka długości walca. Analizowano je podobnie, jak przy określaniu grubości filmu. Aby umożliwić w tym przypadku zautomatyzowane określanie programem Multiscan współrzędnych punktów znajdujących się na „śladach świetlnych”, obrazy te miksowano z odpowiednim,



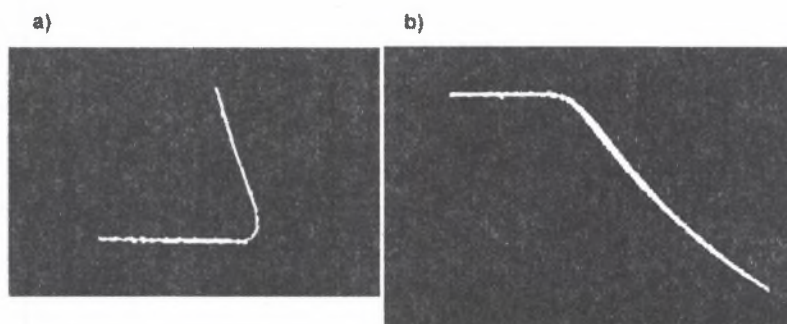
Rys. 2. Obrazy menisków dynamicznych w miejscu wynurzania walca przy prędkości jego powierzchni:
 a - 0,039 m/s, b - 0,071 m/s, c - 0,106 m/s, d - 0,155 m/s

Fig. 2. Images of dynamic meniscus in the region of cylinder emergence at surface velocities: a - 0,039 m/s,
 b - 0,071 m/s, c - 0,106 m/s, d - 0,155 m/s



Rys. 3. Obrazy menisków dynamicznych w miejscu zanurzenia walca przy prędkości jego powierzchni:
 a - 0,039 m/s, b - 0,052 m/s, c - 0,106 m/s, d - 0,155 m/s

Fig. 3. Images of dynamic meniscus in the region of cylinder submergence at surface velocities: a - 0,039 m/s,
 b - 0,052 m/s, c - 0,106 m/s, d - 0,155 m/s



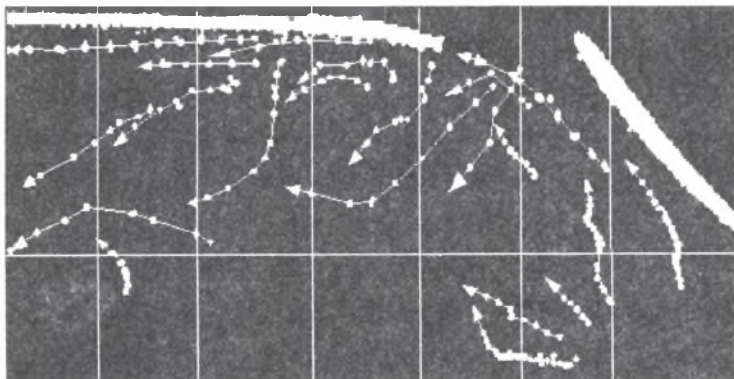
Rys. 4. Kształty menisków dynamicznych: a - w powietrzu, b - pod wodą w miejscu zanurzenia, po obróbce komputerowej

Fig. 4. Computer generated shapes of dynamic meniscus of the skimmed liquid in the region of cylinder: a - emersion, b - submergion

uprzednio przygotowanym, obrazem z siatką czarnych linii zapisanych w standardzie .BMP. Uzyskiwano wówczas łańcuchy czworobocznych białych plamek, rozpoznawalnych i analizowanych bez problemów przez program Multiscan. Dane z analizy umożliwiły sporządzenie wykresów przedstawiających kształty menisków. Ich dokładność nie jest jeszcze w pełni zadowalająca z tych samych powodów, co w przypadku określania grubości filmu.

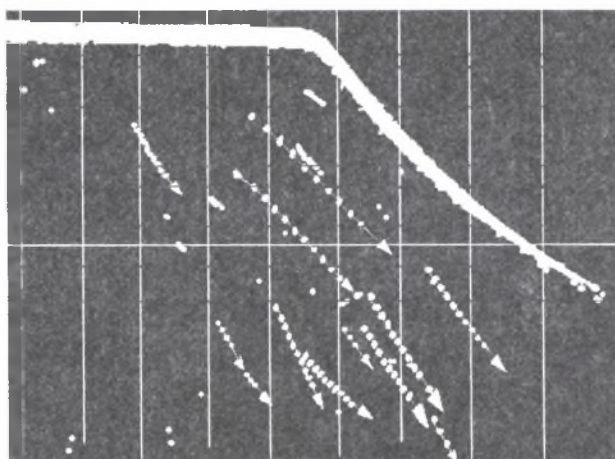
Tory elementów płynu

Tory elementów płynu we wstępnych badaniach określano w wodzie w miejscu zanurzenia i wynurzenia powierzchni walcowej laboratoryjnego zbieraka. Do wyodrębnienia pionowego wąskiego obszaru obserwacji stosowano płaszczyznę świetlną, którą rzutowano zawsze na środek walca zbieraka, ponieważ w tym miejscu przepływ wody w największym stopniu odbywa się w płaszczyźnie prostopadłej do osi walca. Aby umożliwić określenie torów (linii prądu), do cieczy dodawano niewielkie ilości znacznika ([4]), którego pojedyncze oświetlone cząstki pozwalały analizować ruch cieczy, a więc tory i prędkości. Jako znacznik wypróbowano różne substancje organiczne i nieorganiczne (nasiona, pyłki i pigmenty). W badaniach najlepsza okazała się biel tytanowa, głównie ze względu na biały kolor, ale i ona posiadała wady w tym zastosowaniu. Użyta technika pomiarowa była bardzo podobna do opisanej w poprzednim rozdziale.



Rys. 5. Przekształcony obraz ruchu cząstek znacznika w wodzie w miejscu wynurzenia walca przy prędkości jego powierzchni 0,092 m/s i grubości warstwy cieczy na wodzie 15 mm

Fig. 5. Computer generated trajectories of tracer particles in water in the region of cylinder emergence at surface velocity 0,092 m/s and oil-layer thickness 15 mm



Rys. 6. Przekształcony obraz ruchu cząstek znacznika w wodzie w miejscu zanurzenia walca przy prędkości jego powierzchni 0,092 m/s i grubości warstwy cieczy na wodzie 15 mm

Fig. 6. Computer generated trajectories of tracer particles in water in the region of cylinder submergence at surface velocity 0,092 m/s and oil-layer thickness 15 mm

Przykładowe, przekształcone komputerowo obrazy ruchu cząstek znacznika w miejscu wynurzenia walca, przedstawiono na rys. 5, a w miejscu zanurzenia na rys. 6. Uzyskano je, wykorzystując funkcję nakładania obrazów programu Multiscan. Aby uniknąć częściowego pokrywania się cząstek znacznika z ciągu kilkudziesięciu klatek (filmowanych w tempie 25 klatek/s) wybierano kilkanaście. W celu zwiększenia czytelności na rysunkach tych dorysowano tory cząstek i strzałki pokazujące kierunek ich ruchu oraz usunięto część cząstek

poruszających się odmiennie. Na podstawie zbiorów tekstowych generowanych przez program, z danymi o współrzędnych poszczególnych cząstek obliczano ich średnie prędkości lokalne.

Z rys.5 wynika, że przy prędkości liniowej walca ok. 0,09 m/s ruch wody w miejscu wynurzania nie jest już czysto laminarny. Sprzyja temu występujące w tym miejscu wyhamowywanie przepływu cieczy wzdłuż powierzchni walca. Powoduje to dodatkowo charakterystyczne silne wygięcie granicy rozdziału woda-ciecz zbierana przy wynurzającej się powierzchni walcowej w kształt leżącej litery „S”. Na rys. 5 wygięcie do góry nie jest widoczne, ponieważ znajduje się w cieniu (nie jest oświetlone). W miejscu tym woda z częścią strumienia transportowanego oleju wznosi się na kilka milimetrów do góry, a następnie spływa ze zwiększoną prędkością ukośnie w dół i w bok. Część cząstek przepływa ukośnie do płaszczyzny świetlnej, zostawiając na sumarycznym obrazie wyraźnie krótsze tory. Jeżeli prędkość walca jest mniejsza od ok. 0,08 m/s, obserwuje się w miejscu wynurzania ruch bardziej uporządkowany, charakterystyczny dla laminarnego.

W miejscu zanurzania walca czysto laminarny przepływ wody utrzymuje się przy większych prędkościach walca (rys.6 – prędkość 0,09 m/s), ponieważ tu ciecz przyspiesza, rozpoczyna przepływ wzdłuż obracającej się powierzchni zbierającej. Widoczne jest pewne niewielkie odchylenie w dół torów cząstek, ponieważ zastosowane cząstki bieli tytanowej mają gęstość większą od wody, a prędkość ruchu wody jest umiarkowana.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione wyniki są efektem badań wstępnych z wykorzystaniem nowych technik pomiarowych, które wymagają jeszcze udoskonalenia. Niemniej są bardzo zachęcające. W porównaniu do tradycyjnej metody fotograficznej, którą wcześniej zastosowano do badań adhezyjnego zbierania ([2]), jest szybsza i mniej pracochłonna. Szczególnie dużym ułatwieniem jest zastosowanie komputerowej obróbki obrazów. Wyniki pozwoliły również na opracowanie konkretnych wniosków, mających na celu zwiększenie dokładności pomiarów.

Stosowana metoda pomiarowa jest lub będzie stopniowo udoskonalana w wyniku:

- 1) użycia do pomiarów statycznych (grubość filmu i kształty menisków) aparatu fotograficznego cyfrowego o ponad dwukrotnie większej rozdzielczości (1600 x 1200 punktów) od stosowanej kamery wideo i umożliwiającego dogodniejsze jego ustawienie w miejscu pomiarów, wypróbowany zostanie również do pomiarów dynamicznych (linie

- prądu) przy małych prędkościach liniowych elementu zbierającego,
- 2) wykorzystania lasera półprzewodnikowego małej mocy do pomiaru grubości filmu,
 - 3) przebudowania lampy własnej konstrukcji, wytwarzającej płaszczyznę świetlną, przez dodanie soczewki cylindrycznej i polepszenie precyzji wykonania istotnych elementów. W pomiarach lepsze efekty dało zastosowanie rzutnika pisma o mocy 580 W z maską szczelinową,
 - 4) użycia pyłków roślinnych jako znaczników ruchu cieczy, przede wszystkim sosny, które w wodzie praktycznie mają taką samą, jak ona gęstość i są dobrze widoczne,
 - 5) zastosowania do pomiaru pól prędkości nowej kamery wideo, rejestrującej obrazy w standardzie Super VHS, który ma większą rozdzielczość obrazu od standardu PAL, wykorzystywanego w dotychczas używanej kamerze,
 - 6) analizowania obrazów nowszą wersją programu Multiscan i innych wyspecjalizowanych, które są już w naszym zakładzie,
 - 7) wykorzystania zaawansowanej analizy ruchu cząstek znacznikowych, pozwalającej na określanie wektorów przesunięcia między kolejnymi klatkami filmu w komórkach, na które jest dzielony analizowany obraz. Jest to technika stosowana w profesjonalnych systemach pomiarowych do określania pól prędkości.
 - 8) pełnego uruchomienia nowego stanowiska laboratoryjnego.

Analiza dotychczas uzyskanych wyników pomiarów pozwoliła lepiej poznać przebieg badanego procesu zbierania adhezyjnego prowadzonego za pomocą walca. Otrzymane dane eksperymentalne stanowią również materiał porównawczy dla prowadzonych równoległe obliczeń numerycznych zbierania adhezyjnego ([3]).

Prezentowane wyniki osiągnięto dzięki przyznaniu autorowi funduszy przez KBN na projekt zarejestrowany pod numerem 7 T07B 050 14.

LITERATURA

1. Wiejacha J., Malczewski J.: Hydromechanika selektywnego wybierania cieczy z mieszanin dwufazowych powierzchniami ciał stałych. Biul. Inf. Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1985, nr 66, s.13÷25.
2. Wiejacha J., Malczewski J.: Zbieranie adhezyjne z odbiorem cieczy powierzchniowej pod wodą. Inżynieria i Aparatura Chemiczna 1993, 1, s.25÷27.

3. Wiejacha J.: Symulacja numeryczna uwarstwionego przepływu cieczy w adhezyjnym zbieraniu. XIII Konferencja Mechaniki Płynów, Częstochowa, 21-24.09.1998, t. 2, s.167-170.
4. Hardonk B. A.: FlowMap – A new development for real-time processing in PIV. Dantec Measurement Technology A/S Denmark 1996.

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Sawicki
Prof. Politechniki Gdańskiej

Abstract

Flow visualisation experiments concerned with adhesion skimming, by a rotating cylindrical surface, of oil from a layer formed on water surface are presented. The experiments were aimed at determining the shapes of dynamic meniscus and trajectories of water particles below the skimmed oil layer, in particular in the regions of cylinder emergence and submergence. The experiments were monitored and recorded using a video camera. The flow regions under investigation were separated by light sheet technique. Tracer particles were added to both liquids in order to make the analysis of flow trajectories and velocity fields possible. Video records stored on magnetic tape were processed using the imaging software MULTISCAN installed on a computer equipped with a „frame grabber” graphics card. Other specialised software including bitmap editors was also used. A number of computer generated images were obtained to visualise the shapes of dynamic meniscus and patterns of water flow. The contributes to a better understanding of adhesion skimming carried out under different operating conditions. The experimental results are also used as reference data for on-going research on numerical simulation of adhesion skimming.