

JERZY WIEJACHA

Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, Politechnika Warszawska, Płock

Analiza nieustalonego zbierania adhezyjnego za pomocą walców wykonanych z różnych materiałów

Wprowadzenie

W działalności człowieka występuje problem zebrania cieczy, która rozleje się na powierzchni wody i dzięki swojej mniejszej gęstości oraz braku rozpuszczalności tworzy ciągłą lub porwaną warstwę. Najbardziej skuteczną metodą usuwania tej cieczy jest mechaniczne zbieranie adhezyjne za pomocą taśm, walców, tarcz i innych zespołów roboczych. Wykorzystywane jest w nim zjawisko selektywnego przylegania (adhezji) cieczy zbieranej do zanurzającej się gładkiej powierzchni ciała stałego. Selektywność wynika głównie z geometrii wymuszonego przepływu obu cieczy. Dokładne badania wykazują, że przebieg zbierania adhezyjnego jest złożony oraz nie do końca zbadany, dlatego wciąż pojawiają się nowe publikacje związane z adhezyjnym pokrywaniem, których przykładami są artykuły *Weinsteina* i *Ruschaka* [1, 2]. Na ogół nie stwierdza się wpływu materiału powierzchni zbierającej na zbieranie adhezyjne. Jednak w określonych warunkach ujawnia się wpływ rodzaju materiału powierzchni zbierającej na wydajność i czystość zbieranej cieczy.

Celami pracy były: określenie wpływu materiałów walców na wydajność nieustalonego zbierania oleju maszynowego w różnych okresach czasowych zbierania, zarejestrowanie i analiza przepływów cieczy podczas nieustalonego adhezyjnego zbierania.

Podstawy teoretyczne procesu

Proces zbierania adhezyjnego można w określonych, typowych warunkach w przybliżeniu potraktować, jak przepływ laminarny jednofazowy tylko cieczy zbieranej i wówczas dobrze sprawdzają się teoretyczne zależności analityczne. Objętościową wydajność jednostkową zbierania Γ (wyrażoną np. w [l/(m·s)]) przy nad- i podwodnym odbiorze można wtedy określić wspólnym wzorem:

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

gdzie:

- u_{sc} – prędkość powierzchni zbierającej,
- h_o – grubość ustalona filmu,
- g – przyspieszenie ziemskie,
- μ – lepkość dynamiczna zbieranej cieczy,
- α – kąt pochylenia powierzchni zbierającej do poziomu,
- $\Delta\rho$ – różnica gęstości płynów tworzących granicę międzyfazową (dwóch cieczy – przy odbiorze podwodnym, przy nadwodnym równa gęstości cieczy zbieranej – pomija się gęstość powietrza).

Grubość ustaloną filmu określają dwa równania wynikające z modeli teoretycznych – prostsze:

$$h_{o2} = \frac{0,944}{(1 - \cos \alpha)^{1/2}} \frac{(\mu u_{sc})^{2/3}}{\Delta\sigma^{1/6} (\Delta\rho g)^{1/2}} \quad (2)$$

i dokładniejszego:

$$h_{o3} = \frac{0,944}{(1 - \cos \alpha)^{1/2}} \frac{(\mu u_{sc})^{2/3}}{\Delta\sigma^{1/6} (\Delta\rho g)^{1/2}} \left(1 - \frac{h_o^2 \Delta\rho g \sin \alpha}{\mu u_{sc}} \right)^{2/3} \quad (3)$$

gdzie:

$\Delta\sigma$ – napięcie powierzchniowe na granicy międzyfazowej powietrze – ciecz lub ciecz – ciecz.

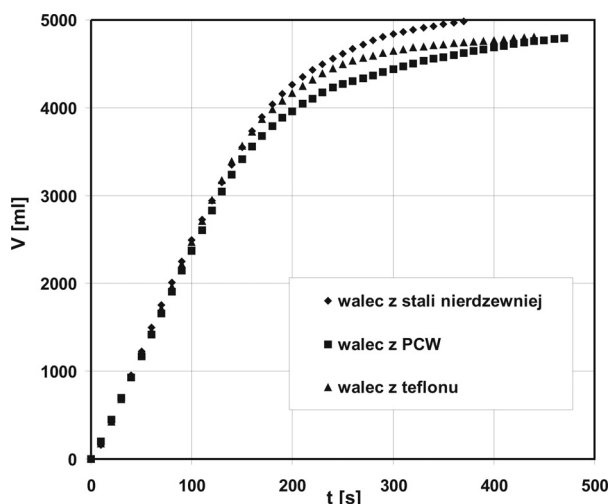
Opis badań

Przeprowadzono badania eksperymentalne, a następnie analizę otrzymanych danych eksperymentalnych i istniejących zależności teoretycznych dotyczących wydajności nieustalonego zbierania adhezyjnego z odbiorem nadwodnym 5 litrów oleju maszynowego rozlanego na wodzie w zbiorniku pomiarowym, za pomocą walców o średnicy 314 mm i szerokości 160 mm oraz początkowym zanurzeniu 50 mm, wykonanych ze stali nierdzewnej, teflonu i PCW. W danej serii pomiarowej przy stałej prędkości (z przedziału 0,1–0,4 m/s) zbierano do końca rozlaną ciecz, tworzącą w chwili początkowej stosunkowo cienką, ciągłą warstwę na wodzie o grubości ok. 14,2 mm. W czasie zbierania malała stopniowo grubość warstwy oleju, aż w końcu ulegała porwaniu i zaczynało działać zjawisko selektywnego przylegania do powierzchni walca obu cieczy: zbieranej i wody. Pomiary polegały na rejestrowaniu kamerą wideo masy zebranej cieczy, wyświetlanej przez elektroniczną wagę, a także jej objętości po określonym czasie od momentu uruchomienia zbieraka, przy jednoczesnej kontroli końcowej zawartości wody w zebranej cieczy. Dzięki zastosowaniu powyższej metody pomiarowej uzyskano dużą rozdzielczość i skupienie wyników pomiarów.

Analiza wyników badań

Analizując wyniki pomiarów objętości zebranego oleju V w funkcji czasu trwania zbierania t przy różnych prędkościach powierzchni zbierającej, stwierdzono brak wpływu materiału tej powierzchni, kiedy warstwa oleju na wodzie jest wystarczająco gruba, aby być ciągłą i prędkość powierzchni zbierającej nie przekracza 0,32 m/s. Dopiero, gdy po odpowiednio długim czasie zbierania warstwa oleju na wodzie staje się zbyt cienka i przestaje tworzyć ciągłą warstwę, ujawnia się wpływ materiału walca. Do zanurzającej się wówczas powierzchni walca przylegały jednocześnie obie ciecze (woda i olej) i mogły ujawniać się różnice w dynamicznym zwilżaniu różnych materiałów. Walec ze stali nierdzewnej zbierał wtedy razem z olejem wodę, natomiast walce z PCW i teflonu poniżej mierzalnych wartości. Przykładowy wykres zmiany

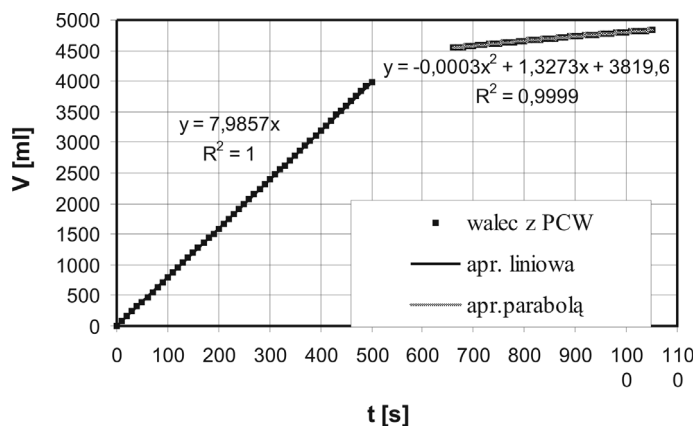
objętości oleju maszynowego $V = f(t)$ zbieranego walcem ze stali nierdzewnej, PCW i teflonu przy prędkości obwodowej walca 0,2 m/s, kiedy widać największy wpływ materiału, przedstawiono na rys. 1. Zauważono, że wpływ materiału w końcowej fazie zbierania nieustalonego rośnie ze wzrostem prędkości, a po przekroczeniu 0,2 m/s zaczyna spadać, po czym przy maksymalnej w badaniach prędkości 0,4 m/s znowu następuje wzrost wpływu. Dodatkowo przy prędkości 0,4 m/s stwierdzono, że walec ze stali kwasoodpornej już od początku zbiera ok. 10% mniej oleju. Wynika to stąd, że lepsza zwilżalność oleju powierzchni PCW i teflonu od stali ogranicza w pewnym stopniu występujące w miejscu zanurzenia walca niekorzystne zjawisko porywania powietrza, które występuje już przy prędkości 0,4 m/s. Pomiary dowodzą, że w warunkach dynamicznego zwilżania powierzchni walca podczas adhezyjnego zbierania, PCW i teflon są hydrofobowe, natomiast stal kwasoodporna hydrofilowa. Podobna zasada występuje w przypadku powierzchni zbierających w postaci tarcz [3].



Rys. 1. Wykres zmiany objętości oleju maszynowego $V = f(t)$ zbieranego walcem ze stali nierdzewnej, PCW i teflonu przy prędkości obwodowej walca 0,2 m/s

Dane pomiarowe analizowano również w celu określenia zmiany średniej grubości warstwy oleju w zbiorniku i wydajności jednostkowej oleju w zależności od czasu zbierania oraz zmiany wydajności jednostkowej w funkcji średniej grubości warstwy oleju. Określono funkcje aproksymujące objętości i wydajności zbierania oleju w funkcji czasu dla stałych prędkości. Na rys. 2. przedstawiono przykładowe linie aproksymujące dane pomiarowe objętości zbieranego oleju maszynowego $V = f(t)$ dla początkowego i końcowego okresu przy prędkości obwodowej $u_{sc} = 0,1$ m/s za pomocą walca z PCW. Ogólnie uzyskano bardzo dobrą zgodność punktów doświadczalnych z liniami aproksymującymi początkowy i końcowy okres zbierania (prosta oprócz 0,4 m/s i parabola). Dla okresu środkowego zbierania nieustalonego trzeba stosować bardziej złożone i niejednolite funkcje aproksymujące.

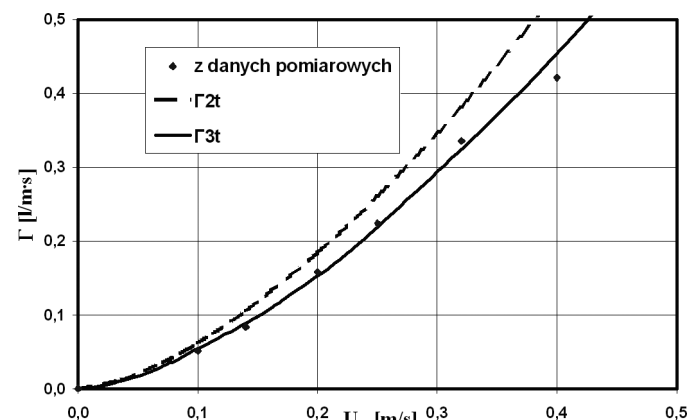
Dodatkowo na podstawie uzyskanych wyników pomiarów dla zbierania nieustalonego wyznaczono objętościowe wydajności jednostkowe Γ dla zbierania ustalonego (dla stałej grubości warstwy oleju na wodzie). Z rys. 2 wynika, że tangens kąta nachylenia prostej aproksymującej to objętościowa wy-



Rys. 2. Linie aproksymujące dane pomiarowe objętości zbieranego oleju maszynowego $V = f(t)$ dla początkowego i końcowego okresu zbierania za pomocą walca z PCW przy prędkości obwodowej $u_{sc} = 0,1$ m/s

dajność, która po podzieleniu przez szerokość walca przekształca się w Γ . Uzyskane w ten sposób z danych pomiarowych wartości porównano z zależnościami teoretycznymi.

Przykładowe wykresy teoretycznej wydajności jednostkowej zbierania oleju maszynowego Γ_{2t} i Γ_{3t} wg równań (1–3) za pomocą walca z teflonu w funkcji prędkości liniowej walca u_{sc} i punkty uzyskane na podstawie danych pomiarowych przedstawiono na rys. 3. Uzyskano ogólnie dobrą zgodność danych, tak jak przy zbieraniu ustalonym.



Rys. 3. Wykresy teoretycznej wydajności jednostkowej zbierania oleju maszynowego Γ_{2t} i Γ_{3t} wg równań (1–3) za pomocą walca z teflonu w funkcji prędkości liniowej walca u_{sc} i punkty uzyskane na podstawie danych pomiarowych

Wykonane także w czasie pomiarów zdjęcia umożliwiły określenie średnich grubości nieregularnych, porwanych płam oleju na wodzie w zbiorniku, które powstają pod koniec zbierania nieustalonego, gdy na wodzie jest już jego mało.

Dzięki przeprowadzonej analizie uzyskano bardziej szczegółowy opis adhezyjnego rozdzielania uwarstwionych układów ciecz – woda.

LITERATURA

1. S.J. Weinstein, K.J. Ruschak: Chem. Engng Sci. 54, 977 (1999).
2. S.J. Weinstein, K.J. Ruschak: Chem. Engng Sci. 56, 4957 (2001).
3. J. Wiejacha: Inż. Ap. Chem., 45, nr 6s, 245 (2006).