

RAFAŁ RAKOCZY

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet, Szczecin

Analiza wpływu wirującego pola magnetycznego na zawieszenie magnetycznych cząstek ciała stałego w ośrodku ciekłym

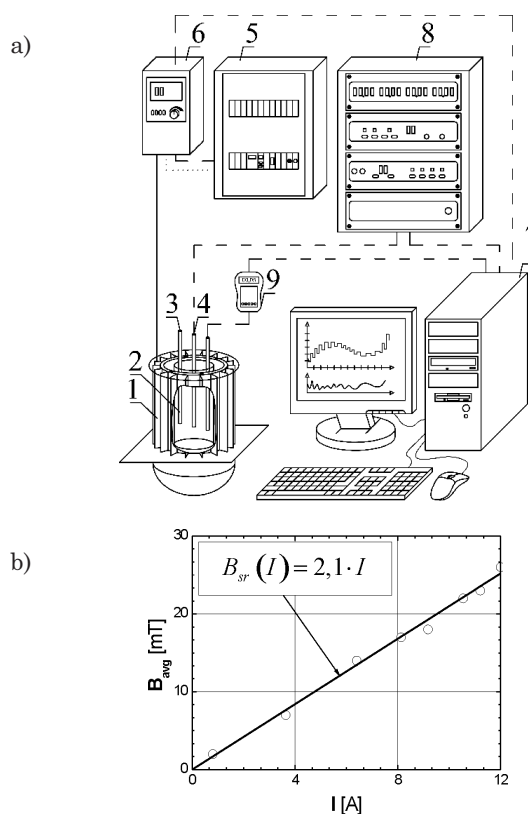
Wprowadzenie

W ostatnich czasach pole magnetyczne jest często wykorzystywane do intensyfikacji podstawowych operacji inżynierii chemicznej [1, 2]. W niektórych operacjach wirujące pole magnetyczne (WPM) może być z powodzeniem zastosowane zamiast tradycyjnego mieszania mechanicznego [3, 4] lub użyte do wytwarzania oraz kontrolowania układów dyspersyjnych [5, 6]. Specyficzne układy dyspersyjne powstają w wyniku oddziaływania WPM na układ dwufazowy ciecz – ferromagnetyczne cząstki. Układy takie mają własności inne niż klasyczne układy dyspersyjne. W WPM zawieszona cząstka może być traktowana, jako zbiór wirujących mieszadeł rozmieszczonych w obszarze fazy ciągłej. Zależnie od natężenia pola magnetycznego, dominanty średnic cząstek ciała stałego przyjmują lokalnie różne wartości. Generalnie można stwierdzić, że przeciętna średnica cząstek zawieszonych w cieczy rośnie wraz ze wzrostem mocy WPM. Głównym celem prezentowanej pracy jest informacyjna ocena stanu zawieszenia cząstek ferromagnetycznych w cieczach różniących się przewodnością elektryczną. Wyniki pomiarów opracowano w formie zależności wiążącej wartości indukcji magnetycznej i wyznaczonego kryterium informacyjnego.

Procedura doświadczalna

Pomiary doświadczalne procesu zawieszenia ferromagnetycznych cząstek ciała stałego (Fe_3O_4) w cieczy zostały wykonane przy użyciu specjalnie skonstruowanej aparatury wykorzystującej generator WPM w postaci zmodyfikowanego trójfazowego silnika indukcyjnego (Rys. 1a). Stator generatora zasilano prądem zmiennym, którego częstotliwość regulowano w zakresie $f = 1\div 50$ Hz. Zmienność średniej wartości indukcji magnetycznej została wywoływana zmianami natężenia przepływającego prądu poprzez uzwojenia generatora WPM. Zmienność ta została graficznie przedstawiona na rys. 1b.

Pomiary doświadczalne inicjowano poprzez wprowadzenie określonej masy (7 gram) cząstek ferromagnetycznych do szklanego pojemnika, znajdującego się wewnątrz generatora WPM. Początkowa zbiorowość cząstek była spreparowana w taki sposób, że statystyczny rozkład rozmiarów tych cząstek mógł być opisany za pomocą znormalizowanego rozkładu normalnego (Rys. 2a). Jak wykazały otrzymane dane doświadczalne, histogramy rozkładu cząstek ciała stałego w cieczy przewodzącej, poddawanej oddziaływaniom zewnętrznego WPM, są podobne do rozkładu początkowego. Przykłady rozkładów rozmiarów charakterystycznych cząstek ferromagnetycznych w funkcji średniej wartości indukcji

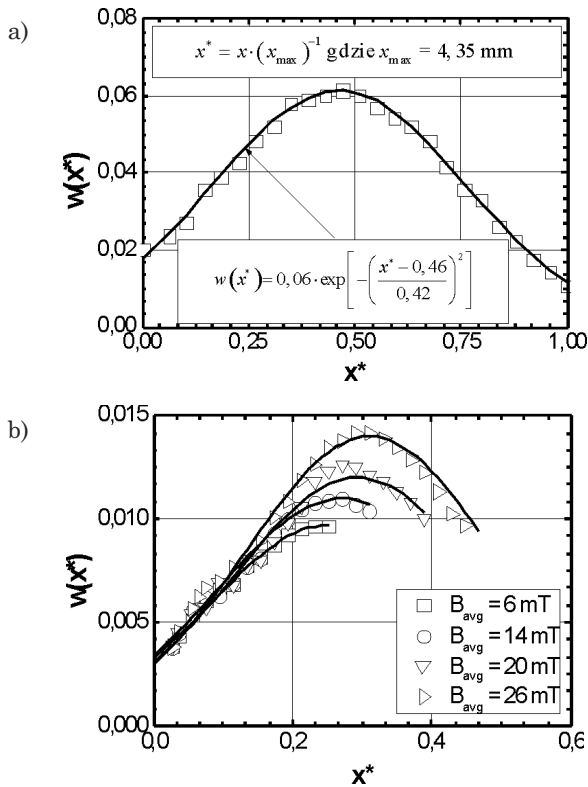


Rys. 1. Schemat aparatury doświadczalnej (a): 1 – generator WPM, 2 – pojemnik szklany, 3 – sonda próbkująca, 4 – czujnik temperatury, 5 – skrzynka zasilająca, 6 – falownik, 7 – komputer, 8 – wielofunkcyjne urządzenie kontrolno-pomiarowe, 9 – czujnik Halla) oraz graficzne przedstawienie zmian wartości średniej indukcji magnetycznej od natężenia prądu (b)

magnetycznej, otrzymane dla wody kranowej (przewodność elektryczna $\sigma_e = 0,05 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$) jako cieczy podatnej na oddziaływanie pola magnetycznego zostały przedstawione na rys. 2b. Linie ciągłe przedstawione na tym rysunku reprezentują proponowany aproksymacyjny opis analityczny danych pomiarowych w formie rozkładu *Gaussa*.

Analiza danych doświadczalnych

Charakterystyki statystyczne stanu zawieszenia cząstek ferromagnetycznego ciała stałego w cieczach poddawanych oddziaływaniom WPM mogą być z powodzeniem opisane analitycznie z wykorzystaniem podstawowych estymatorów analizy statystycznej. Efekt oddziaływania tego typu pola magnetycznego na zmiany średniej wartości rozmiaru podnoszonych cząstek został graficznie przedstawiony na rys. 3.



Rys. 2. Znormalizowane rozkłady rozmiarów wzdłużnych ferromagnetycznych cząstek ciała stałego dla: a) stanu początkowego, b) w przypadku tworzenia układu dyspersyjnego z wodą jako fazą ciągłą

Wpływ indukcji pola magnetycznego na wartości średniego rozmiaru podnoszonych ferromagnetycznych cząstek w cieczach charakteryzujących się różną przewodnością elektryczną może być analitycznie opisany następującą zależnością:

$$x_{avg}(B_{avg}, \sigma) = \{0,05 + 1,91[1 - \exp(-1,37\sigma)]\} \times \exp\{[0,02 + 0,05 \exp(-4,46\sigma)]B_{avg}\} \quad (1)$$

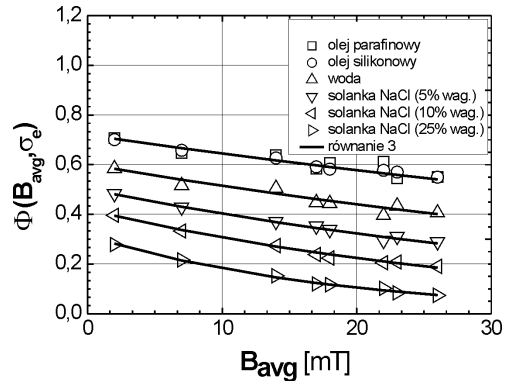
Ocenę stanu zawieszenia cząstek ferromagnetycznych w cieczach oparto na specjalnym kryterium sformułowanym na podstawie definicji entropii informacji:

$$\Phi(B_{avg}, \sigma_e) = \frac{H_{max} - H_{avg}(B_{avg}, \sigma_e)}{H_{max}} \quad (2)$$

gdzie: $H_{max} = 4,2$ – entropia informacji wyznaczona dla rozkładu początkowego (Rys. 2a), $H_{avg}(B_{avg}, \sigma_e)$ – entropia informacji wyznaczona dla rozkładów normalnych opisujących zmienność rozmiarów podnoszonych cząstek pod działaniem

WPM w cieczy charakteryzującej się przewodnością elektryczną σ_e . Jak wynika z proponowanej zależności, najlepsze zawieszenie cząstek w cieczy poddawanej oddziaływaniom WPM występuje wtedy, gdy wartości $\Phi \rightarrow 0$, wówczas w stanie zawieszenia w fazie ciągłej znajduje się cała zbiorowość ferromagnetycznych cząstek załadowanych do pojemnika w momencie początkowym procesu. Graficzne przedstawienie zmian wyznaczonych wartości $\Phi(B_{avg}, \sigma_e)$ pokazano na rys. 3. Linie ciągłe na tym rysunku są opisane następującą zależnością analityczną:

$$\Phi(B_{avg}, \sigma_e) = [0,72 \exp(-3,59\sigma_e)] \exp\{-[0,011 \exp(-7\sigma_e)]B_{avg}\} \quad (3)$$



Rys. 3. Zmiany wyznaczonych wartości kryterium $\Phi(B_{avg}, \sigma_e)$ w zależności od średniej wartości indukcji magnetycznej

Podsumowanie i wnioski

W pracy omówiono efekt wirującego pola magnetycznego na podnoszenie ferromagnetycznych cząstek w cieczach charakteryzujących się różną przewodnością elektryczną. Przedstawiono również propozycję opisu stanu wytwarzanych układów dyspersyjnych poddawanych oddziaływaniom wirującego pola magnetycznego. Analizę otrzymanych wyników przeprowadzono w oparciu o kryterium informacyjne zdefiniowane na podstawie entropii informacji.

LITERATURA

1. C. Reichert, W.H. Hoell, M. Franzreb: Powder Technology 145, 131 (2004).
2. R. Rakoczy: Oddziaływania cieplne pola elektromagnetycznego na płyny, Rozprawa doktorska, Politechnika Szczecińska, 2006.
3. P. Dold, K.W. Benz: Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials 38, 7 (1999).
4. J. Hristov, V. Ivanova: Recent Res. Dev. Ferment. Bioeng. 2, 41 (1999).
5. S.R De Grott, P. Mazur: Non-equilibrium Thermodynamics, North-Holland Pub. Co., 1962.
6. R.E. Rosensweig: Ferrohydrodynamics, Dover Pub. Inc., 1985.