

Małgorzata PŁACZEK, Roman DYGA

e-mail: m.placzek@po.opole.pl

Katedra Inżynierii Procesowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Analiza metod obliczania udziału objętościowego gazu w przepływie dwufazowym gaz – ciecz w kanałach wypełnionych pianami metalowymi

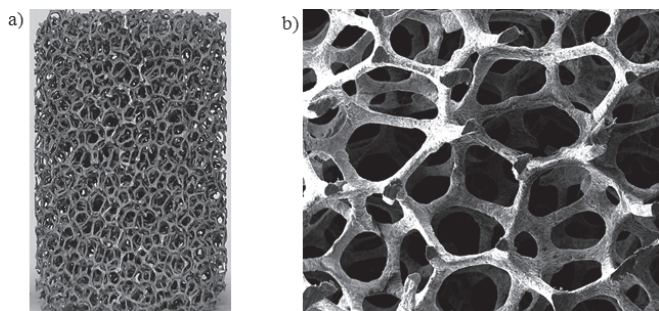
Wstęp

Pianki metalowe to przykład materiałów nowej generacji, które ze względu na strukturę otwartych komórek i wysoką porowatość (97%), łączą w sobie cechy materiałów o relatywnie wysokiej powierzchni właściwej z wysoką przepuszczalnością, co zapewnia znaczną poprawę warunków cieplno-przepływowych. W literaturze można znaleźć wiele przykładów korzyści wynikających ze stosowania tych materiałów, m.in. powszechne jest stosowanie super lekkich aparatów zawierających materiały porowate jako część wyposażenia pokładowego samolotów, czy też stosowania kompaktowych wymienników ciepła m.in. do chłodzenia elektroniki użytkowej [Sorgo M., 1996; Bhattacharya A., 2002; Li H.Y., 2011].

Realizacja zadań projektowych procesów i aparatów wymaga znajomości wyrażen do przewidywania wartości takich wielkości jak opory przepływu, udział objętościowy faz czy też współczynniki wymiany ciepła i masy zarówno w odniesieniu do układu jedno- jak i wielofazowego przepływu płynu. Wobec braku prac opisujących hydrodynamikę przepływu gazu i cieczy w kanałach wypełnionych piankami metalowymi, przeprowadzono badania doświadczalne dotyczące pomiaru udziału objętościowego gazu w przepływie dwufazowym powietrze – woda przez poziomy kanał wypełniony stałą pianką aluminiową *Duocell* o porowatości 40 PPI. Ze względu na podobieństwo identyfikowanych w badaniach własnych struktur przepływu (przeływ rozwarstwiony, korkowy) do klasycznych struktur obserwowanych przy przepływie mieszaniny dwufazowej gaz – ciecz przez rury poziome, dane eksperymentalne zostały wykorzystane do ewaluacji ważności modeli obliczania wartości udziału objętościowego faz w odniesieniu do przepływu przez kanały wypełnione.

Badania eksperymentalne

Badania przepływu dwufazowego gaz – ciecz, w układzie woda-powietrze prowadzono w poziomo usytuowanym kanale o średnicy wewnętrznej 21,7 mm i długości 2,84 m. Kanał pomiarowy wypełniono pianką aluminiową *Duocell* o gęstości upakowania porów 40 PPI. Średnica pora komórki pianki wynosiła 2,386 mm natomiast jej porowatość 92,9%. Na rys. 1 przedstawiono zdjęcia pianki metalowej wykorzystanej w badaniach.



Rys. 1. Pianka *Duocell*: a) wypełnienie kanału; b) struktura porów

Badania doświadczalne obejmowały obok pomiaru udziałów objętościowych, pomiar spadków ciśnienia oraz identyfikację struktur przepływu. Parametry przepływowe poszczególnych składników mieszaniny dwufazowej zestawiono w tab. 1. Występujące tam wielkości oblicza się na podstawie zależności:

– prędkość pozorną gazu (u_{sg}) i cieczy (u_{sl})

$$u_{sg(l)} = G_{g(l)} / (\rho_{g(l)} A) \quad (1)$$

– wlotowy udział objętościowy gazu (cieczy):

$$\xi_{g(l)} = Q_{g(l)} / (Q_g + Q_l) = u_{sg(l)} / (u_{sg} + u_{sl}) \quad (2)$$

gdzie:

$G_{g(l)}$ – strumień masowy gazu (cieczy), [kg/s],

A – pole przekroju porzecznego kanału, [m²].

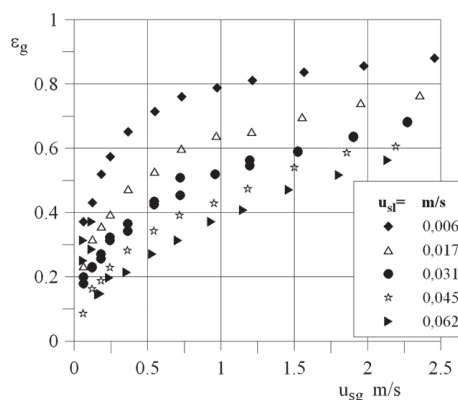
$Q_{g(l)}$ – strumień objętościowy gazu (cieczy), [m³/s].

Tab. 1. Warunki prowadzenia badań

Płyn (f)	u_{sf} , m/s	ξ_{sf} , -
Powietrze (g)	0,061 ÷ 2,45	0,493 ÷ 0,998
Woda (l)	0,006 ÷ 0,062	0,002 ÷ 0,5

Wyniki badań i analiz

Przeprowadzona analiza zmian wartości udziałów objętościowych faz w strudze dwufazowej pozwoliła stwierdzić, że udział objętościowy gazu (ϵ_g) zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości pozornej gazu (Rys. 2). Jednocześnie wzrost prędkości pozornej fazy ciekłej przyczynia się do redukcji udziału objętościowego gazu. Stopień tej redukcji może wynosić nawet 50%. Charakterystyczny przebieg zmian wartości ϵ_g wynika z faktu, że wraz ze wzrostem strumienia cieczy zwilżającej ścianki materiału porowatego redukuje się ilość wolnej przestrzeni dostępnej dla fazy gazowej. Poza tym przy wyższych strumieniach fazy ciekłej, pęcherzyki gazu mogą znacznie szybciej przepływać przez pory wypełnienia, co skutkuje zmniejszeniem ich wymiarów a tym samym zmniejszeniem udziału objętościowego gazu.

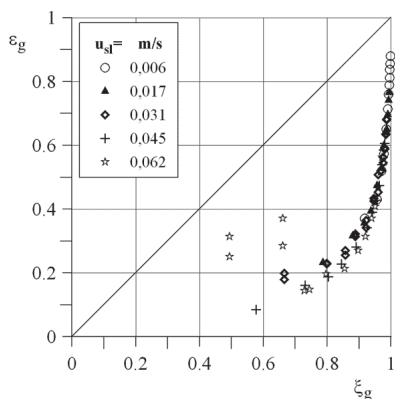


Rys. 2. Zmierzony udział objętościowy gazu w funkcji prędkości pozornej gazu

Dodatkowo wartość ϵ_g zależy od rodzaju reżimu przepływu determinowanego przez wzajemne relacje strumieni fazy ciekłej i gazowej określone w przepływie dwufazowym przez ξ_{gg} (Rys. 3).

Jak wynika z danych na rys. 3 wartości ϵ_g są mniejsze od odpowiadających im wartości wlotowego udziału objętościowego (ξ_g) wynikające z relacji strumieni zasilających kanał pomiarowy. Zjawisko to zwane poślizgiem międzyfazowym jest szczególnie widoczne w przypadku przepływu rozwarstwowanego, kiedy gaz przepływa w górnej części kanału pomiarowego ze znacznie większą prędkością niż faza ciekła.

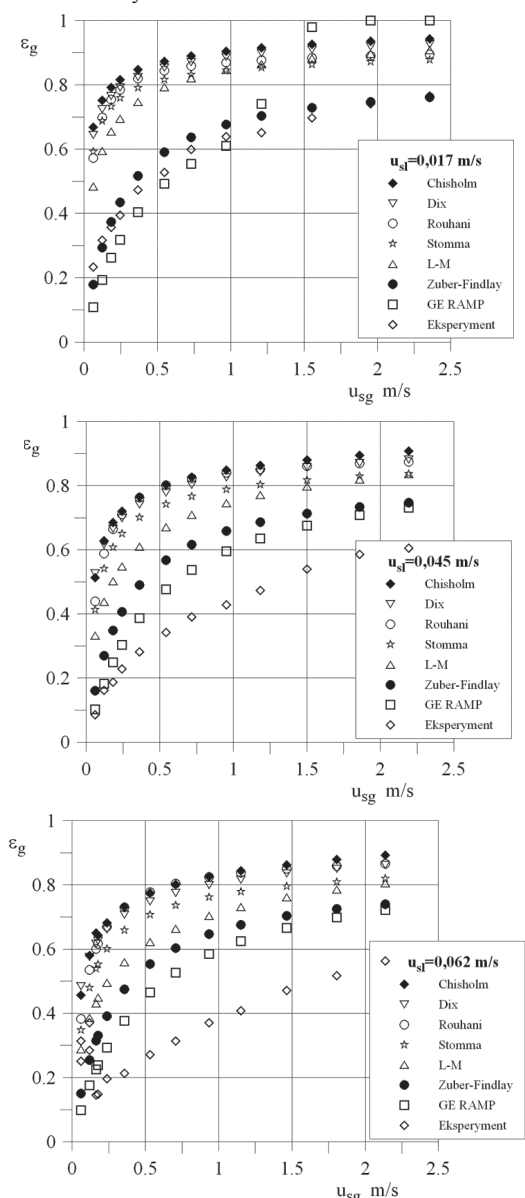
W pracy zweryfikowano przydatność modeli opracowanych przez *Lockharta i Martinelli'ego* [1949], *Zubera i Findlaya* [1965], *Dixa*



Rys. 3. Porównanie wartości zmierzonego i wlotowego udziału objętościowego gazu

[1971], Chisholm [1974], modelu GE RAMP [Punches, 1977], Stomma [1979] oraz Rouhani'ego [1986] do obliczania udziału objętościowego gazu w kanałach wypełnionych piankami metalowymi.

Na rys. 4 przedstawiono zmianę udziału objętościowego gazu dla analizowanej pianki Duocell w funkcji prędkości pozornej gazu i cieczy, dla 6 analizowanych metod.



Rys. 4. Udział objętościowy gazu obliczony wg analizowanych metod w funkcji prędkości pozornej gazu dla stałej prędkości pozornej cieczy równej: a) $u_{sl} = 0,017$ m/s, b) $u_{sl} = 0,045$ m/s, c) $u_{sl} = 0,062$ m/s

Przebieg krzywych na rys. 4a,b,c wskazuje, że udział objętościowy gazu zwiększa się wraz ze wzrostem prędkości pozornej gazu. W odniesieniu do wyników własnych badań eksperymentalnych wybrane metody obliczeniowe w większości przypadków dają znacznie zawyżone wyniki obliczeń. Należy to tłumaczyć tym, że metody te odnoszą się do przepływu przez rury pozbawione wypełnienia, w których poślizg międzyfazowy jest znacznie mniejszy od poślizgu obserwowanego w kanałach wypełnionych, w których może dochodzić do akumulacji fazy ciekłej na wypełnieniu. Najlepsze przybliżenie do wyników badań dają metody GE RAMP [Punches, 1977] oraz metoda [Zubera i Findlay'a 1965]. Jednak w obu przypadkach nie można uznać tych wyników za satysfakcjonujące.

W tab. 2 zestawiono wyniki obliczeń statystycznych. Wartość średniego odchylenia standardowego (RMS) wyznaczono z równania

$$RMS = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{exp} - x_{calc}}{x_{exp}} \right)^2 \right\}^{0,5} \quad (3)$$

Tab. 2. Ocena statystyczna wyników obliczeń

Lp.	Model	RMS	$\delta(\epsilon)$
1	[Lockhart i Martinelli, 1949]	0,89	0,71
2	[Zuber i Findlay, 1965]	0,47	0,36
3	[Dix, 1971]	1,37	1,05
4	[Chisholm, 1974]	1,42	1,09
5	GE RAMP [Punches, 1977]	0,45	0,36
6	[Stomma, 1979]	1,15	0,89
7	[Rouhani, 1986]	1,29	0,99

Wnioski

Poddane weryfikacji modele matematyczne nie pozwalają przewidywać wartości udziałów objętościowych faz z należytą dokładnością.

Najlepsze przybliżenie w odniesieniu do danych eksperymentalnych dają metody GE RAMP [Punches, 1977] oraz metodą Zubera i Findlay'a [1965], które pozwalają wyznaczyć ϵ_g z dokładnością odpowiednio 45% i 47% oraz z błędem względnym na poziomie 36%.

LITERATURA

- Bhattacharya A., Mahajan R.L., 2002. Finned metal foam heatsinks for electronics cooling in forced convection. *ASME J. Electr. Packag.*, 124 (3); 155-163. DOI: 10.1115/1.1464877
- Chisholm D.A., 1967. A theoretical basis for the Lockhart-Martinelli correlation for two-phase flow. *Int. J. Heat Mass Tran.*, 10, nr 12, 1767-1778. DOI: 10.1016/0017-9310(67)90047-6
- Dix G.E., 1971. *Vapor void fraction for forced convection with subcooled boiling at low flow rates*. Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley
- Li H.Y., Leong K.C., 2011. Experimental and numerical study on single and two-phase flow and heat transfer in aluminum foams. *Int. J. Heat Mass Trans.*, 54, 4904-4912. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.07.002
- Lockhart, R.W., Martinelli, R.C., 1949. Proposed correlation data for iso-thermal two-phase two-component flow in pipes. *Chem. Eng. Progr.*, 45, 39-45
- Punches W.C., 1977. MAYOUND-4A method evaluate transient thermal-hydraulic condition in rod bundles, Report GE RAMP no. 23517
- Rouhani Z., 1986. Steady state void fraction and pressure drop in water cooled reactors, *AB Atomenergie*, Studsvik, Sweden 1986
- Sorgo M., 1996. Thermal Interface Materials. *Electronics Cooling*, 2, 3, 12-16
- Stomma Z., 1979. Two-phase flows – void fraction values determination, Institute of Nuclear Research, Świerk/Warszawa, Report INR/18187/IXD/R/A
- Zuber N., Findlay J.A., 1965. Average volumetric concentration in two-phase flow systems. *J. Heat Trans.*, Trans. ASME 87, 453-468. DOI: 10.1115/1.3689137

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010 – 2013 jako projekt badawczy nr 3145/B/T02/2010/38.