

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

83-84

WARSZAWA - POZNAŃ 1983

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

RADA REDAKCYJNA—EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI
STEFAN PERYCZ · WŁODZIMIERZ PROSNAK · KAZIMIERZ STELLER
ROBERT SZEWAŁSKI (PRZEWODNICZĄCY - CHAIRMAN) · JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY—EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER — REDAKTOR — EDITOR
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA—EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1983

Printed in Poland

ISBN 83-01-04553-1
ISBN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 340+90 egz.	Oddano do składania 17 VI 1982 r.
Ark. wyd. 21,5. Ark. druk. 16,75+1 wkl.	Podpisano do druku 22 IV 1983 r.
Pap. druk. sat. kl. V, 70 g	Druk ukończono w maju 1983 r.
Nr zam. 489/184.	E-9/215. Cena zł 200,—

DRUKARNIA UNIWERSYTETU IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

HYDROFORUM

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

na temat

PROBLEMY ROZWOJU HYDRAULICZNYCH MASZYN
WIROWYCH ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM POTRZEB
ENERGETYKI

Porąbka-Kozubnik, 20 - 23, września 1980 r.

*

HYDROFORUM

SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE

on

DEVELOPMENT PROBLEMS OF HYDRAULIC TURBOMACHINES
WITH SPECIAL ACCOUNT OF THE NEEDS OF POWER ENGINEERING

Porąbka-Kozubnik, September 20 - 23, 1980

*

ГИДРОФОРУМ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

на тему

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РОТОРНЫХ МАШИН
С ОСОБЫМ УЧЕТОМ НУЖД ЭНЕРГЕТИКИ

Поромбка-Козубник, 20 - 23 сентября 1980 г.

ANDRZEJ LICHTAROWICZ

Nottingham*

Struga z kawitacją jako urządzenie do badania erozji

W pracy opisano nową metodę badania odporności materiałów na erozję kawitacyjną. Według tej metody próbka materiału umieszczona jest w kawitującej strudze cieczy wypływającej z dyszy pod dużym ciśnieniem. Wyniki badań doświadczalnych wskazały na związek pomiędzy głównymi parametrami wpływającymi na erozję, a wnioski z badań pozwoliły na ustalenie warunków, w jakich powinny być przeprowadzone badania.

1. Wstęp

Do badania odporności materiałów na działanie kawitacji używane są trzy podstawowe metody doświadczalne: metoda przepływowa, metoda uderzającej strugi oraz metoda wibracyjna.

Do metod przepływowych zalicza się tunele kawitacyjne i urządzenia z wirującą tarczą. W obu przypadkach kawitacja występuje za wzbudnikiem, umieszczonym w miejscu, gdzie panuje duża prędkość przepływu. Próbką materiału wbudowaną jest w ścianę tunelu lub w wirującą tarczę, w miejscu gdzie następuje implozja pęcherzyków. Obydwa rozwiązania są często używane, lecz niestety mają one sporo wad: wymagają aparatury o mocy powyżej 30 kW i długiego czasu badań (prędkości przepływu lub prędkości obwodowe są stosunkowo małe i wynoszą maksimum 50 m/s). W obu urządzeniach można regulować niezależnie prędkość przepływu oraz ciśnienie.

W metodzie uderzeniowej próbki materiału umieszczone są na obwodzie wirującej tarczy w ten sposób, że muszą przecinać strumień wody wypływającej z dyszy. Bada się więc erozję spowodowaną przez uderzeniowe oddziaływanie cieczy. Główną wadą tej metody jest to, że kawitacja nie jest zjawiskiem odpowiedzialnym za erozję.

W wibrujących urządzeniach z pulsatorem magnetostrykcyjnym kawitacja następuje na skutek szybkich drgań próbki. W tej sytuacji mechanizm powstawania pęcherzyków jest inny od normalnie spotykanego mechanizmu podczas kawitacji przepływowej, a więc podczas zwiększania prędkości przepływu i spadku ciśnienia. Niedawno Conn [1] proponował posługiwanie się przy metodzie wibracyjnej pojęciem prędkości, będącej iloczynem częstotliwości i amplitudy drgań próbki. Nie wydaje się jednak, by ta definicja prędkości mogła być stosowana do modelowania przepływów. Zaletą metody wibracyjnej jest jej prostota, niski koszt urządzenia, krótki czas badań oraz to, że jest ona jedyną znormalizowaną metodą (ASTM).

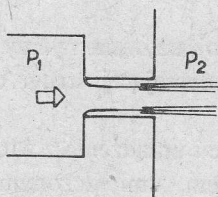
* University of Nottingham, Wielka Brytania.

W pracy tej opisano nową metodę badań zaproponowaną przez autora [2 - 5]. Przez kilka ostatnich lat nad tą metodą prowadzone są prace na Wydziale Inżynierii Mechanicznej na Uniwersytecie w Nottingham [6 - 10]. Podobną metodę zaproponował też Kleinbreuer [11, 12].

2. Zasada działania

W każdej zanurzonej strudze można wzbudzić kawitację o ile tylko prędkość strugi będzie dostatecznie duża, a ciśnienie niezbyt wysokie. W strudze takiej kawitacja występuje w środku zawirowań, w warstwie gdzie gradient naprężeń stycznych jest duży.

W dyszy lub raczej przystawce w postaci krótkiej rurki (rys. 1) następuje oderwanie się strumienia od ostrej krawędzi wlotowej. Struga zwęża się tworząc gardziel, by potem rozszerzyć się do pełnej średnicy rurki. W przestrzeni pomiędzy krawędzią wlotową a punktem przylegania cieczy do ścianki powstaje zawirowanie. W tej też przestrzeni ciśnienie jest niższe od ciśnienia na wylocie z przystawki. Jeżeli ciśnienie na wlocie (p_1) będzie wzrastało,



Rys. 1. Przepływ z kawitacją przez przystawkę

to ciśnienie w strefie oderwania będzie malało, aż osiągnie ciśnienie pary. Wówczas pojawi się kawitacja. Jeżeli ciśnienie p_1 nadal będzie wzrastało, to strefa objęta kawitacją będzie się wydłużała, aż w końcu przemieści się poza przystawkę. Wypływający z przystawki strumień będzie podobny do strumienia wypływającego z kryzy mierniczej, z tą tylko różnicą, że otoczony będzie obszarem kawitacji podobnym „na oko” do białej chmury. W rzeczywistości zjawisko nie jest ustalone i kawitacja występuje w formie obłoczków wypływających z rurki z dużą częstotliwością. Pęcherzyki kawitacji unoszone przez strugę implodują w pewnej odległości od wylotu rurki (przystawki). Wypływ z przystawki powoduje znacznie większą kawitację niż z dyszy, gdzie nie następuje oderwanie strugi. Dysza też nie podlega erozji, gdyż pęcherzyki zasklepiają się (implodują) poza dyszą. Przepływ zachowuje się podobnie do przepływu gazu ściśliwego przez dyszę, kiedy ciśnienie na wypływie jest niższe od ciśnienia krytycznego. Przepływ zależy więc tylko od różnicy ciśnienia p_1 przed dyszą i ciśnienia pary p_v i jest niezależny od ciśnienia p_2 za dyszą. Dokładny opis tych zjawisk podany jest w pracach [13, 14].

Próbka umieszczona w rejonie implodujących pęcherzyków ulega erozji. Erozja mierzona ubytkiem masy próbki zależy od odległości próbki od krawędzi wlotowej dyszy (przystawki). Jeżeli odległość jest zbyt duża, większość pęcherzyków imploduje przed próbką i ubytek masy próbki jest mały. Jeżeli natomiast próbka umieszczona jest zbyt blisko krawędzi wlotowej, to przepływające wokół próbki pęcherzyki znajdują się jeszcze w fazie

wzrostu a nie implozji. W tych warunkach erozja próbki nie następuje. Pomiędzy tymi krańcowymi położeniami próbki istnieje położenie, przy którym erozja próbki jest największa. Położenie to, a więc najważniejsza odległość próbki od krawędzi wlotowej dyszy zależy od szybkości strugi i od ciśnienia na wypływie z dyszy przy założeniu, że inne parametry przepływu pozostaną niezmiennie.

Kawitację można modelować przez zachowanie stałej wartości wyróżnika kawitacji

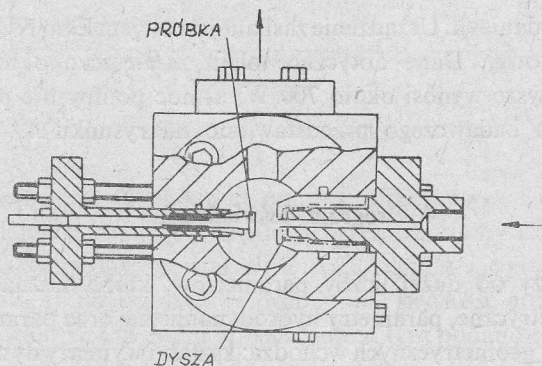
$$\sigma = \frac{p_2 - p_v}{\frac{1}{2}\rho u^2}, \quad (1)$$

gdzie u jest szybkością strugi, a ρ – gęstością cieczy. Dla dyszy, gdy p_1 i $p_2 \gg p_v$ wzór (1) przybiera postać następującą:

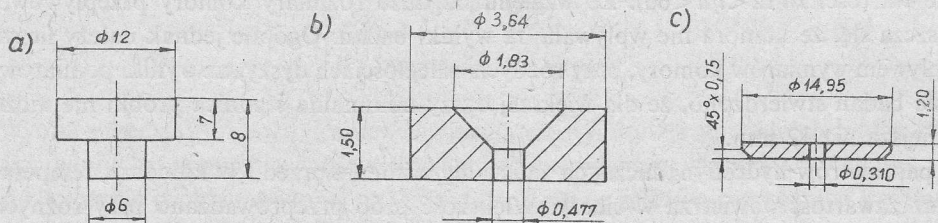
$$\sigma = \frac{p_2 - p_v}{p_1 - p_v} \approx \frac{p_2}{p_1}. \quad (2)$$

3. Urządzenie badawcze

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2. Kawitująca struga wypływa z dyszy do komory, w której ciśnienie (p_2) jest utrzymane na odpowiednim poziomie. Okrągła próbka w kształcie grzybka (rys. 3) umieszczona jest w osi dyszy w ten sposób, że można zmieniać jej położenie względem dyszy. Komora ma po obu stronach okna

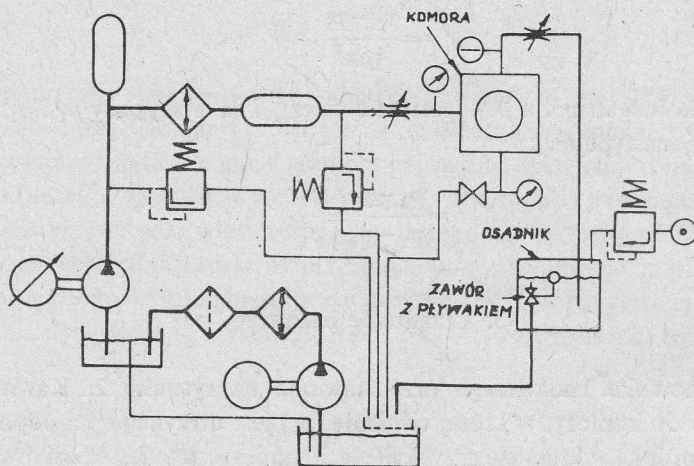


Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego



Rys. 3. Próbka i dysze a) próbka, b) dysza z szafiru, c) dysza ze stali nierdzewnej

umożliwiającej obserwację. Dopuszczalne ciśnienie w komorze wynosi 35 MPa. Ciśnienia p_1 i p_2 mierzone są za pomocą manometrów rurkowych i w czasie próby są utrzymywane na stałym poziomie za pomocą regulatorów ciśnienia pokazanych na rysunku 4. Temperaturę mierzy się termometrami rtęciowymi umieszczonymi w przewodzie wylotowym. Po upływie założonego z góry czasu aparatura zostaje automatycznie wyłączona. Próbką



Rys. 4. Schemat układu

jest ważona przed i po badaniach. Urządzenie zasilane jest olejem Esso NUTO H32 za pośrednictwem pompy tłoczkowej. Dane dotyczące oleju zamieszczono na końcu artykułu. Moc pobierana przez dyszę wynosi około 700 W, a moc pompy nie przekracza 1,5 kW. Schemat całego układu badawczego przedstawiono na rysunku 4.

4. Program doświadczeń

Przebieg erozji zależy od dużej liczby parametrów, które można podzielić na trzy grupy: parametry geometryczne, parametry hydrodynamiczne oraz parametry materiałowe.

W skład parametrów geometrycznych wchodzi: kształt i wymiary dyszy, położenie próbki (odległość l) oraz wymiary próbki i komory. Dotychczas badania przeprowadzono z dwoma rodzajami dysz (rys. 3). Jedynie odległość próbki od dyszy zmieniano w szerokim zakresie wartości l ($12 < l/d < 60$). Ze względu na duże rozmiary komory przepływowej przypuszcza się, że komora nie wpływała na wyniki badań. Ogólnie jednak należy liczyć się z wpływem wymiarów komory, przy różnych odległościach dyszy, na wyniki pomiarów. W czasie badań stwierdzono, że dla większej dyszy minimalna średnica próbki nie może być mniejsza niż 12 mm.

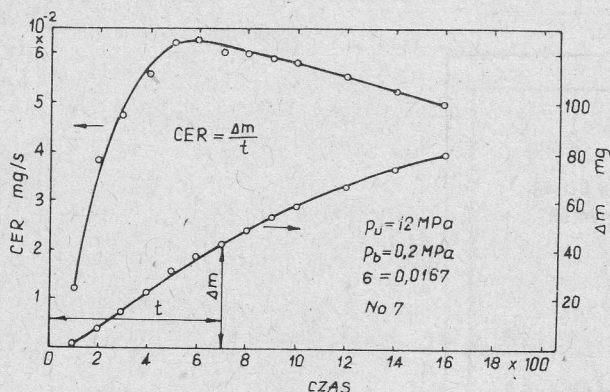
Do parametrów hydrodynamicznych zaliczamy ciśnienie przed i w komorze, temperaturę oraz zawartość powietrza w cieczy. Większość prób przeprowadzano przy różnych stałych wartościach wyróżnika kawitacji σ . Początkowe próby wykonywano przy stałym ciśnieniu w komorze lub stałym ciśnieniu przed dyszą.

Wpływu parametrów materiałowych systematycznie nie badano. Do badań używano najczęściej próbki z aluminium. Posługiwano się również próbkami ze szkła organicznego, niklu oraz stali. Ciecz we wszystkich przypadkach była ta sama.

Głównym celem omawianych tu badań było ustalenie głównych parametrów aparatury, a nie systematyczne badanie materiałów lub cieczy.

5. Metoda badania

Ze względu na potrzebę zapewnienia ustalonych warunków badań, najpierw włącza się aparaturę z próbką wstępną przez około pół godziny. Po tym czasie umieszcza się w komorze uprzednio zważoną i zamontowaną w uchwycie próbkę przeznaczoną do testowania. Próbka jest tak oznakowana, aby można ją było zawsze zamocować w tej samej pozycji.



Rys. 5. Typowe wyniki

Odległość próbki od dyszy nastawia się za pomocą mikromierza i nakrętek mocujących uchwyt. Próbkę poddaje się działaniu kawitacji przez określony czas po czym jest ona ponownie ważona. Całą operację powtarza się wielokrotnie w zależności od potrzeb.

Typowe wyniki prób, tj. ubytki masowe próbki oraz szybkość erozji CER (cumulative erosion rate) przedstawiono na rysunku 5. Na rysunku tym podano też definicję szybkości erozji (CER).

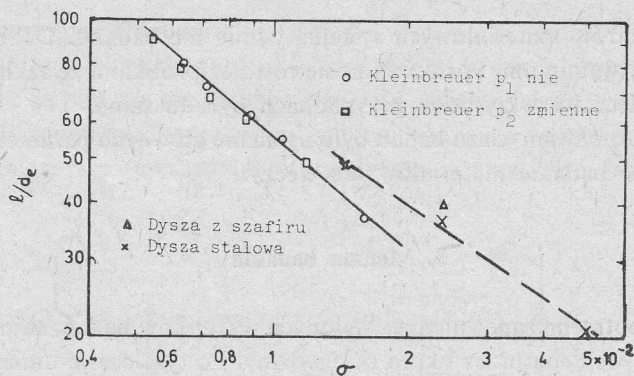
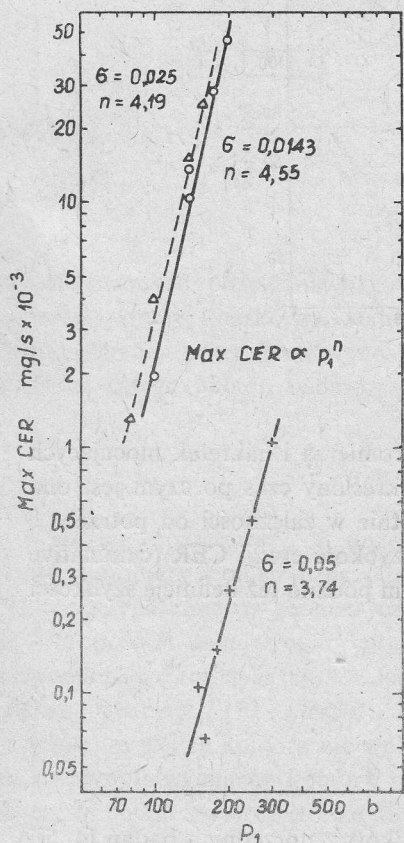
6. Wyniki badań

6.1. Dotychczasowe wyniki

Wyniki przedstawione w tej pracy nawiązują do wyników z uprzednich badań [4, 5]. Z poprzednio uzyskanych wyników wyciągnięto następujące wnioski:

– Położenie próbki narażonej na maksymalną erozję zależy od wyróżnika kawitacji σ (rys. 6). Zależność tę można przedstawić równaniem

$$l/d_e = a\sigma^{-m}, \quad (3)$$

Rys. 6. Zależność l/d_e od wyróżnika kavitacji σ 

Rys. 7. Zależność maksymalnej szybkości erozji od ciśnienia

gdzie l jest odległością próbki od krawędzi dyszy, d_e — średnicą strumienia, zaś a i m są stałymi współczynnikami doświadczalnymi. Na rysunku 6 naniesiono także, po odpowiednim przeliczeniu, wyniki badań Kleinbreuera [12].

— Testowanie próbek powinno odbywać się przy stałej wartości wyróżnika kawitacji σ i przy odległości l , dla której szybkość erozji jest maksymalna. Rysunek 7 przedstawia zależność maksymalnej szybkości erozji od ciśnienia p_1 . Zależność tę można przedstawić wzorem

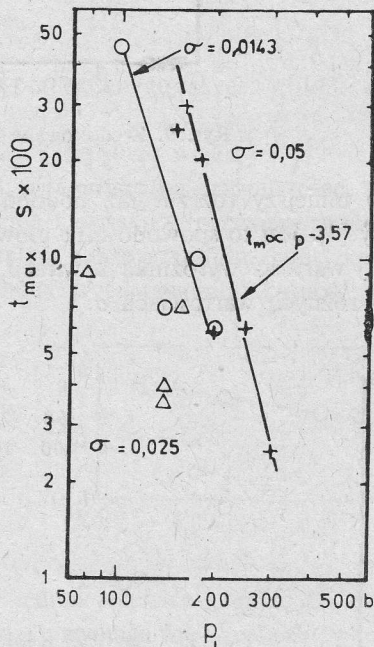
$$\frac{\Delta m}{t} = C p_1^n, \quad (4)$$

gdzie C i $n \approx 4$ są stałymi wyróżnikami doświadczalnymi.

Na rysunku 8 przedstawiono zależność czasu potrzebnego do osiągnięcia maksymalnej szybkości erozji od ciśnienia p_1 . Wynika stąd, że czas ten maleje ze wzrostem ciśnienia, tj.

$$t_{\max} = T p_1^{-b}. \quad (5)$$

Zbyt mało jest jednak danych doświadczalnych dla określenia wartości liczbowych stałych T i b . Prawdopodobnie są one zależne od intensywności kawitacji, a więc od wyróżnika σ .



Rys. 8. Zależność czasu do osiągnięcia maksymalnej szybkości erozji od ciśnienia p_1

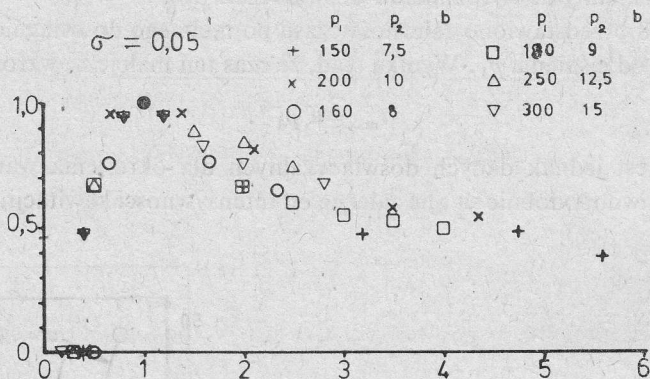
Najpierw przeprowadzono badania [4] z dyszą z wlotem stożkowym, a następnie z dyszą cylindryczną [5] o mniejszej średnicy. Korelację pomiędzy wynikami z obu dysz osiągnięto posługując się średnicą strumienia d_e , przy czym

$$d_e = d \sqrt{C_d}, \quad (6)$$

gdzie d jest średnicą dyszy, a C_d — współczynnikiem wypływu z dyszy. Średnicę strumienia d_e użyto również do korelacji z szybkością erozji na jednostkę powierzchni przekroju strugi. W obu przypadkach korelacja była bardzo dobra.

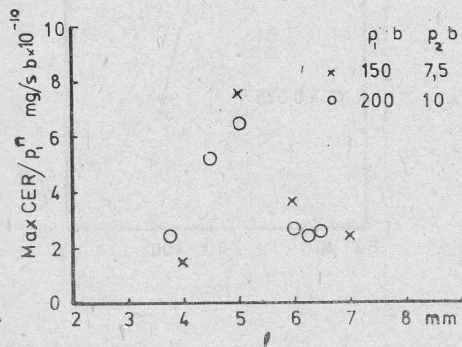
6.2. Obecne wyniki

Celem obecnej pracy było zbadanie procesów erozyjnych przy niedużej intensywności kawitacji (większej wartości σ). Wyniki przedstawione na rysunku 9 obrazują zależność zredukowanej szybkości erozji (zredukowanej względem szybkości maksymalnej) od czasu, przy którym maksymalna szybkość zostaje osiągnięta. Ten sposób przedstawiania wyników badań został wprowadzony przez Thiruvengadama [15]. Omawiane wyniki wykazują



Rys. 9. Zredukowana szybkość erozji w zredukowanym czasie

dużo mniejszy rozrzut niż podobnie zredukowane dane zamieszczone w poprzedniej pracy [4]. Jest to spowodowane głównie tym, że tutaj wszystkie wyniki uzyskano przy tej samej wartości wyróżnika kawitacji, podczas gdy poprzednie wyniki otrzymywane były przy różnych wartościach σ .



Rys. 10. Zależność maksymalnej szybkości erozji od odległości przy stałym wyróżniku kawitacji $\sigma=0,05$ i różnych ciśnieniach p_1 i p_2

Zależność pomiędzy maksymalną szybkością erozji i ciśnieniem p_1 na wlocie dyszy przedstawiono na rysunku 7 – wyniki uzyskano przy $\sigma=0,05$. W porównaniu z wynikami otrzymanymi przy $\sigma=0,025$ i $\sigma=0,0143$, szybkość erozji była obecnie o prawie dwa rzędy mniejsza. Uzyskane wyniki potwierdziły ważność równania (4). Jak wynika z rysunku 7 wartość wykładnika n w równaniu (4) maleje nieznacznie ze wzrostem wyróżnika σ . Prawdopodobnie przy zmniejszaniu się kawitacji erozja staje się mniej zależna od szybkości przepływu.

Rysunek 8 przedstawia zależność czasu potrzebnego do osiągnięcia maksymalnej szybkości erozji od ciśnienia p_1 przy wartości wyróżnika $\sigma=0,05$. Dla opisanych tutaj badań $T=1,3 \cdot 10^{11}$ i $b=3,52$.

Jak dotychczas wszystkie ustalenia dotyczące odległości, przy której występuje maksymalna szybkość erozji odnosiły się do tej samej wartości ciśnienia p_1 . Dla sprawdzenia ważności tego spostrzeżenia w innych przypadkach przebadano zależność szybkości erozji od odległości przy dwu różnych wartościach p_1 , zachowując ten sam wyróżnik kawitacji $\sigma=0,05$. Wyniki przedstawione na rysunku 10 w pełni potwierdzają prawidłowość ustaleń.

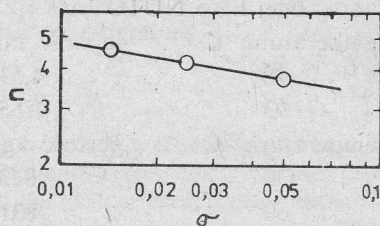
6.3. Podsumowanie wyników

Otrzymane wyniki potwierdziły poprzednie rezultaty oraz rozszerzyły zakres i informacje przy innych wartościach wyróżników kawitacji. Badania wykazały zależność wartości wykładnika n od wyróżnika σ . Na podstawie wszystkich dotychczas otrzymanych wyników można stwierdzić, że wykładnik n maleje wraz ze spadkiem natężenia kawitacji. Korzystając z wartości podanych na rysunku 7 oraz uwzględniając zależność

$$p \propto u^2,$$

gdzie u jest szybkością przepływu, można napisać dla przebadanego zakresu $0,0143 < \sigma < 0,5$, że szybkość erozji (CER) $\propto u^{2n} \propto u^{7,9}$.

Z literatury [16] wynika, że rozrzut tych wartości jest dużo większy i prawie każdy badacz podaje inną wartość. W świetle powyższych ustaleń można przypuszczać, że wartość wykładnika n nie jest stała i zależy od natężenia kawitacji w różnych urządzeniach badawczych. Wynika stąd, że podając wartość n należy także określić warunki kawitacji przez podanie przynajmniej wartości σ . Na rysunku 11 przedstawiono zależność n od σ .



Rys. 11. Zależność n od wyróżnika kawitacji σ

Choć wszystkie trzy punkty leżą na jednej prostej, to jednak jest ich zbyt mało dla ustalenia jednoznacznego związku $n(\sigma)$. Ustalenie takiego związku wymaga większej liczby punktów, przy czym uzyskanie jednego punktu wymaga przebadania przynajmniej dziewięciu próbek.

Z powodu niedostatecznej liczby wyników doświadczalnych nie można również określić czasu potrzebnego do osiągnięcia maksymalnej szybkości erozji. W poprzednich badaniach niektóre krzywe szybkości były bardzo płaskie co utrudniało dokładne określenie czasu osiągnięcia szybkości maksymalnej.

Wykazano również, że dla ustalenia odległości l , przy której szybkość erozji jest największa (dla danej wartości wyróżnika kawitacji) wystarczy przeprowadzić badania przy jednej tylko wartości p_1 i p_2 (rys. 10).

7. Wnioski końcowe

Otrzymane wyniki wskazują, że proponowana metoda badań nadaje się do oceny odporności materiałów na działanie kawitacji. Powinna się ona też nadawać do porównania skutków erozji spowodowanych przez różne ciecze. Pożądane jest zwiększenie średnicy dyszy z 0,310 mm do około 0,45 mm, co spowoduje zwiększenie erozji i przyspieszy przebieg prób. Wówczas jednak zwiększy się moc pobierana przez aparaturę.

Stwierdzono, że krótkie przystawki ($l/d \approx 2,5$) z ostrą krawędzią wlotową (90°), jak w kryzach mierniczych, dają duże nasilenie kawitacji i są łatwe do wykonania.

Ponadto wiadomo, że badania próbek należy przeprowadzać przy stałej wartości wyróżnika kawitacji σ , a próbki należy tak ustawiać aby odległość l odpowiadała maksymalnej szybkości erozji dla zadanych warunków. W tym celu należy najpierw określić, przy jakich wartościach σ trzeba przeprowadzać badania.

Czas trwania próby powinien być przynajmniej dwa do trzech razy dłuższy od czasu potrzebnego dla osiągnięcia maksymalnej szybkości erozji.

Dla materiałów bardziej odpornych na erozję czas próby można skrócić przez zwiększenie ciśnienia p_1 . Wyniki można przeliczyć używając wzoru (4).

8. Właściwości próbek i cieczy

Próbka: Aluminium 99,6%

Wytrzymałość na rozzerwanie: 67,4 MN/m²

Twardość: V H 21,5 - 23,8

Obróbka cieplna: 2 godz. w temp. 400°C, chłodzenie w powietrzu

Ciecz: Olej Esso NUTO H32

Temperatura °C	lepkość mm ² /s
----------------	----------------------------

38	4,53
----	------

93	1,55
----	------

Temperatura °C	gęstość kg/m ³
----------------	---------------------------

30	843
----	-----

50	831
----	-----

Ciśnienie pary (przy 38°C) 2,26 Pa

Literatura

- [1] A. F. Conn, V. E. Johnson, *The fluid dynamics of submerged cavitating jet cutting*. Zgłoszono na 5th International Symposium on Jet Cutting Technology, British Hydromechanics Research Association, Hanover 1980.
- [2] A. Lichtarowicz, *Use of a Simple Cavitating Nozzle for Cavitation Erosion Testing and Cutting*. Nature: Physical Science, Vol. 239, No. 91, 25th September 1972, pp. 63 - 64.
- [3] A. Lichtarowicz., *Experiments with Cavitating Jets*. Proceedings Second International Symposium on Jet Cutting Technology, Paper D1, British Hydromechanics Research Association, Fluid Engineering, Cambridge, U.K. 1974.

- [4] A. Lichtarowicz, *Cavitating jet apparatus for cavitation erosion testing*. Erosion: Prevention and Useful Applications, ASTM STD664, W. F. Adler, Ed., American Society For Testing and Materials.
- [5] A. Lichtarowicz, P. J. Scott, *Erosion Testing with Cavitating Jet*. Proc. 5th International Conference on Erosion by Solid and Liquid Impact, Cavendish Laboratory, Cambridge, September 1979.
- [6] M. D. Nolan, *New Methods of Cavitation Erosion Testing*. B. Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Nottingham, Nottingham, U.K. 1975.
- [7] T. S. Stawski, *Cavitation Erosion Testing*. B.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Nottingham, Nottingham, U.K. 1976.
- [8] R. J. Munton, *The Effect of Flow Parameters on Cavitation Erosion*. B.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Nottingham, U.K. 1977.
- [9] P. J. Scott, *Cavitating Jet Erosion Testing*. B.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Nottingham, Nottingham, U.K., 1979.
- [10] A. Verley, *Cavitating Jet Erosion Testing*. B.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Nottingham, Nottingham, U.K. 1980.
- [11] W. Kleinbreuer, *Werkstoffzerstörung durch Kavitation in Ölhdraulischen Systemen*. Industrie-Anzeiger, Vol. 98, No. 61, 28th July 1976, pp. 1096 - 1100.
- [12] W. Kleinbreuer, *Kavitationserosion in hydraulischen Systemen*. Industrie-Anzeiger, Vol. 99, No. 34, pp. 609 - 613.
- [13] I. D. Pearce, A. Lichtarowicz, *Discharge Performance of Long Orifices with Cavitating Flow*. Proc. Second Fluid Power Symposium, Paper D2, British Hydromechanics Research Association, Fluid Engineering, Guildford, U.K. 1921.
- [14] A. Lichtarowicz, I. D. Pearce, *Cavitation and Aeration Effects in Long Orifices*. Conference on Cavitation, Institution of Mechanical Engineers, London. U.K. 1974.
- [15] A. Thiruvengadam, *Scaling Laws for Cavitation Erosion*. Hydronautics Inc. Technical Report 233-15, Laurel, Md., December 1971.
- [16] A. S. Ramamurthy, P. Bhaskaran, *Velocity Exponent for Erosion and Noise Due to Cavitation*. Trans. A.S.M.E. Paper No. 79-FE-9, (1979).

Cavitating Jet as a Tool for Erosion Investigations

Summary

A new method of examining the resistance of materials to cavitation erosion is described. Cavitation occurs in a jet leaving a nozzle under high pressure. Erosion is observed in a specimen placed within the jet. Results of experimental investigations provided the relation between main parameters affecting the erosion. In conclusion the required experimental conditions are specified and some discrepancies between earlier results are explained.

Струя с кавитацией как устройство для исследования эрозии

Резюме

В работе описан новый метод исследования сопротивляемости материалов кавитационной эрозии. В струе вытекающей из сопла под большим давлением наступает кавитация, а образец помещенный в струе подвергается эрозии. Результаты экспериментальных исследований дают зависимость между основными параметрами влияющими на эрозию, а выводы из исследований позволяют установить условия, в каких должны быть проводимы исследования и толкуют некоторые расхождения в предыдущих результатах.