ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1967
Seria: MATEMATYKA - FIZYKA z. 12 Nr kol. 199

BOGDAN SIKORA, JANUSZ PIETKIEWICZ
Instytut Metalurgii Żelaza

WPŁYW KAWITACJI ULTRADŹWIĘKOWEJ NA ŻELAZO I NIEKTÓRE JEGO STOPY

Streszczenie: W polu ultradźwiękowym o częstotliwości 800 kHz i natężeniu 8 W/cm^2 zbadano zachowanie się żelaza oraz trzech jego stopów ze zwiększającą się zawartością chromu. Badania przeprowadzono w wodzie destylowanej przy temperaturach 300-305°K. Stwierdzono, że oprócz mechanicznego niszczenia próbek ma miejsce utlenianie powierzchni. Badania mikroskopowe wykazały, że granice ziarn metalu są mniej odporne na działanie kawitacji niż ich wnętrze.

Wstęp

Jednym z czynników powodujących niszczenie materiałów jest kawitacja. Problem niszczenia kawitacyjnego występuje wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z szybkimi przepływami turbulentnymi cieczy oraz w polu ultradźwiękowym odpowiednio dużej intensywności. Zjawisku kawitacji ultradźwiękowej poświęcono wiele prac zarówno doświadczalnych jak i teoretycznych.

W hydrodynamice kawitacją nazywa się proces tworzenia pustych miejsc w cieczy pod wpływem dostatecznie wielkich naprężeń rozrywających. "Pustki" te natychmiast znikają. Rayleigh policzył siły powstające przy zanikaniu sferycznego pęcherzyka gazowego w cieczy [10]. Jeżeli promień pęcherzyka zmniejsza się od wartości początkowej Ro do wartości R, a ciśnienie hydrostatyczne w cieczy wynosi P_o, to prędkość cząstek cieczy w czasie ich ruchu do środka pęcherzyka jest odwrotnie proporcjonalna do wielkości zmniejszającego się promienia pęcherzyka. Po natychmiastowym ustaniu ruchu na skutek zniknięcia pęcherzyka powstała energia kinetyczna zamienia się na energię cieplną i na energię zgęszczania cieczy. Według Rayleigh'a

maksymalne ciśnienie powstaje w odległości 1,587R od środka pęcherzyka i wynosi ono

$$P = P_o \frac{R_o^3}{4^{4/3} R^3}$$

Tak na przykład dla $R = (1/20) R_o$ i $P_o = 1$ atmosferze na P otrzymujemy 1260 atmosfer.

Według nowszych poglądów przy istnieniu tak dużej różnicy ciśnień między wnętrzem pęcherzyka a cieczą powstaje fala uderzeniowa, w której czole przebiegi opisywane są przez tak zwaną adiabatę uderzeniową lub adiabatę Hugoniota. Adiabatę tę otrzymamy gdy do równania

$$E - E_o = \frac{P - P_o}{2} (V_o - V)$$

podstawimy za wartości energii $E = f(P, V)$ jeżeli funkcje takie są znane. V w równaniu powyższym oznacza objętość.

Notlingk i Neppiras [8] przy pewnych upraszczających założeniach podali następujące równanie różniczkowe opisujące ruch drgający pęchezryka kawitacyjnego

$$2\varrho R^2 \frac{d^2R}{dt^2} + 3\varrho R\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 + 4\delta = 2R\left[P \sin 2\pi f - P_o + \left(P_o + \frac{2\delta}{R_o}\right) \frac{R_o^3}{R}\right]$$

gdzie:

ϱ – oznacza gęstość,
δ – napięcie powierzchniowe,
P – amplitudy ciśnienia dźwięku,
f – częstotliwość.

W jednej z ostatnich prac na ten temat Bogusławski i Koriec [4] rozwiązując równanie Noltingk' a i Neppirasa dla impulsów prostokątnych dochodzą do wniosku, że wielkość progu kawitacji do 20 kHz nie zależy od częstotliwości, natomiast powyżej 20 kHz próg kawitacji podwyższa się proporcjonalnie do kwadratu częstotliwości. Brak jest danych doświadczalnych jednoznacznie potwierdzających te zależności, gdyż trudno jest ustalić moment, od którego począwszy następuje kawitacja [9].

Omówienie dotychczasowych badań nad niszczeniem kawitacyjnym w polu ultradźwiękowym

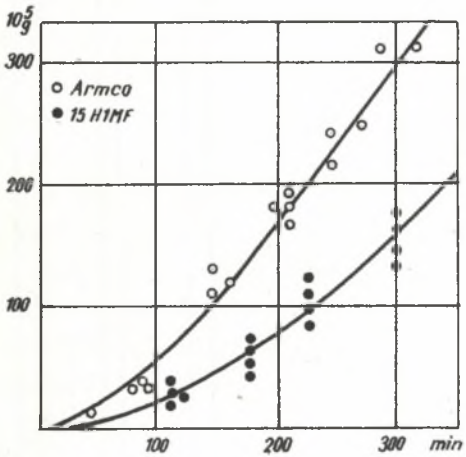
Niszczące działanie pola kawitacyjnego, jakie się zwykle obserwuje, polega na powstawaniu i zanikaniu pęcherzyków kawitacyjnych w nadźwiękawianej cieczy. Badaniom mechanizmu niszczenia kawitacyjnego poświęcone są prace A.S. Biebczuka, J.J. Borisowa, Ł.O. Makarowa i Ł.D. Rozenberga [1, 2, 3, 6, 7]. Wymienieni autorzy przeprowadzali badania w polu o częstotliwości 8 kHz; obiektami badań były płytki metalowe (glinowe, mosiężne) oraz ceramiczne. Wnioski z cytowanych prac dadzą się ująć następująco: Przy ustalonym natężeniu pola ultradźwiękowego ubytki mas nadźwiękawianych próbek rosną wraz z czasem nadźwiękawiania. Wielkości ubytków tego samego gatunku próbek zależą od rodzaju cieczy, w której następuje kawitacja. Decydującym czynnikiem sprzyjającym niszczeniu jest mała rozpuszczalność gazów w cieczy. Na niszczące działanie kawitacji ma również wpływ prężności pary nasyconej danej cieczy. W przypadku powstawania pęcherzyków kawitacyjnych w cieczy o małym nasyceniu gazem wnętrze pęcherzyka wypełnione jest parą nasyconą. Podczas anihilacji pęcherzyka powstaje fala uderzeniowa, która odpowiedzialna jest za niszczenie. Intensywność fali uderzeniowej jest tym większa, im większa różnica ciśnień między otoczeniem a wnętrzem pęcherzyka, stąd większe działanie niszczące cieczy o mniejszej prężności pary nasyconej.

Badania nad niszczeniem stopów żelaza i ich omówienie

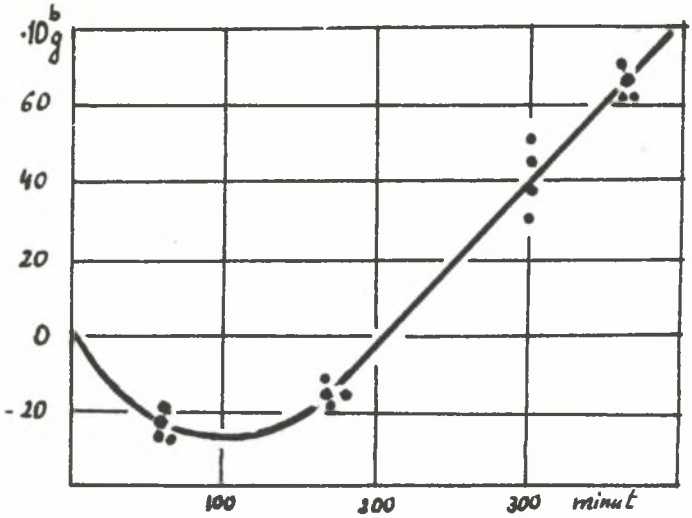
W pracy tej przedstawiono rezultaty badań nad odpornością na niszczenie kawitacyjne żelaza i niektórych stali. Stale wybrano nie przypadkowo. Żelazo "armco" jest materiałem wszechstronnie przebadanym pod wieloma względami. Nie jest to materiał odporny na działanie chemiczne. Pozostałe stale charakteryzują się znacznie większą odpornością na działanie chemiczne. Skład chemiczny użytych materiałów przedstawiono w poniższej tabelce:

	C	Cr	Mn	Si	P	S	Al
Armco	0,02	-	0,055	0,0075	0,018	0,040	0,003
15H1MF	0,15	1,0	-	0,33	0,023	0,013	-
6 Cr	0,08	5,68	0,39	0,14	0,018	0,026	-
9 Cr	0,10	8,98	0,52	0,10	0,015	0,016	-

Próbki miały kształt walców o średnicy 7 mm i wysokości 15 mm. Badania przeprowadzono w polu ultradźwiękowym o częstotliwości 800 kHz i natężeniu 8 W/cm^2. Środowiskiem w którym następowało niszczenie była woda, której temperaturę utrzymywano w granicach 300° do 305°K. Różnice mas próbek nienadźwiękawianych i nadźwiękawianych przez określony czas służyły za miarę zniszczenia. Wyniki badań dla żelaza Armco i stali 15H1MF przedstawiano na rysunku 1. Na osi rzędnych przedstawiono ubytki masowe mierzone z dokładnością do 10^{-5} g, a na osi odciętych czas w minutach. Stwierdzono, że o ile dla żelaza Armco i stali 15H1MF w całym zakresie badanych czasów występują ubytki mas, to dla stali 6 Cr w początkowym okresie nadźwiękawiania następuje przyrost masy (na rys. 2 zaznaczono to jako ujemne różnice) i dopiero w następnym okresie nadźwiękawiania występują ubytki. Fakt ten należy przypisać utlenieniu powierzchni próbki. Produkty utlenienia tworzą trwałą warstwę, która jest niszczona dopiero po odpowiednim wzroście jej grubości. M.E. Fitzgerald, V. Griffing i J. Suliwan [5] utleniające działanie pola ultradźwiękowego przypisują wysokiej temperaturze ja-



Rys. 1. Wykres ubytków mas żelaza i stali 15H1MF w czasie nadźwiękawiania



Rys. 2. Wykres ubytków masowych dla stali 6 Cr

Rys. 3. Mikrofotografia szlifu żelaza Armco

Rys. 4. Mikrofotografia szlifu stali 15H1Mf

ka powstaje w czole fali uderzeniowej, powstałej przez anihilację pęcherzyka kawitacyjnego. Temperaturę tę autorzy szacują na 300-1200°K.

Wyników badań nad stalą 9 Cr nie przedstawiono graficznie, gdyż występowały znaczne rozrzuty w pomiarach dla różnych próbek. Dla wszystkich jednak próbek stali 9 Cr w początkowym czasie nadźwiękawiania wystąpiły ubytki mas a następnie nieznaczny wzrost po czym znowu ubytek. Zjawisko ubywania i wzrostu masy powtarza się w ciągu całego okresu badań, co świadczy o powtarzającym się procesie utleniania i odrywania utlenionej warstwy. Powierzchnię nadźwiękawiania próbek poddano również badaniom mikroskopowym. Rysunek 3 przedstawia powiększony 750 razy obraz szlifu żelaza Armco, a rysunek 4 stali 15H2MF po dwu godzinach nadźwiękawiania. W obydwu przypadkach widoczny jest daleko posunięty proces niszczenia wzdłuż granic ziarn metalu.

Przedstawione wyniki świadczą o złożonym charakterze niszczenia żelaza i jego stopów przez pole ultradźwiękowe w którym następuje kawitacja. Poza niszczeniem często mechanicznym, którego mechanizm wyjaśniają cytowane prace A.S. Biebozuka, Ł.D. Rozenberga i współpracowników, występuje również utlenienie powierzchni.

Obserwacje mikroskopowe wskazują, że granice ziarn są mniej odporne na działanie kawitacji niż ich wnętrza. Jest bardzo prawdopodobne, że niszczenie powodowane turbulencjami podczas przepływu ma podobny charakter.

Wpłynęło do Redakcji 11.IV.1967 r.

LITERATURA

[1] Biebczuk A.S., Rozenberg Ł.D.: Akusticzeskij Żurnał 6,4, (498) 1960.

[2] Biebczuk A.S., Borisow J.J., Rozenberg Ł.D.: Akusticzeskij Żurnał 4, 4, 361 1958.

[3] Biebczuk A.S.: Akusticzeskij Żurnał 3, 4 (369) 1957.

[4] Bogusławskij J.J., Korec W.A.: Akusticzeskij Żurnał 12, 4 (416) 1966.

[5] Fitzgerald M.E., Griffing V., Sullivan J.: Journal of Chemical Phycisc 25, 5, 926 1956.

[6] Biebczuk A.S., Makarow Ł.O., Rozenberg Ł.D.: Akusticzeski Żurnał 2, 2, (113) 1956.

[7] Makorow Ł.O., Rozenberg Ł.D.: Akusticzeskij Żurnał 3, 4, (374) 1957.

[8] Nolting B.E., Neppiras E.A.: Proceedings of the Physical Society 64, 384, (1032) 1951 oraz 63, 369 (674) 1950.

[9] Neppiras E.A.: Ultrasonics, January - March 1965.

[10] Bergmann L.: Der Ultraschall und seine Anwendungen in Wissenschaft und Technik, Zurich 1954.

РАЗРУШЕНИЕ ЖЕЛЕЗА И НЕКОТОРЫХ ЕГО СПЛАВОВ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Р е з ю м е

В ультразвуковом поле частотой 800 кгц и интенсивностью 8 В/см^2 проведено исследования поведения железа и некоторых его сплавов. Исследования были проведены в воде при температуре 2300--305°К. Установлено, что кроме механического разрушения образцов имеет место окисление их поверхности, особенно сильное для стали содержащей 6% хрома. Микроскопические исследования привели к выводу, что разрушение металла происходит сильнее вдоль границ зерон чем внутри зерон.

THE DESTRUCTION OF IRON AND SOME ITS ALLOYS IN ULTRASONICS FIELD

S u m m a r y

The effect of the ultrasonic field with frequency of 800 kHz and intensity of 3 W/cm^2 on the behaviour of iron and some of its alloys were investigated. The experiments were carried out in water at 300-305°K. It has been found that besides of mechanical destruction of iron surface, there occurs also the oxidation of surface layer, especially intensive for the alloy containing 6% Cr. Microscopic studies showed that the mechanical destructions of metal surface occurs mainly along the grain boundaries.