

Maciej ZARZYCKI, Ludwik NIEMAS

WYNIKI BADAŃ ODPORNOŚCI PRÓBEK Z WYBRANYCH TWORZYW KONSTRUKCYJNYCH
NA NISZCZENIE EROZYJNE W UNIWERSALNYM URZĄDZENIU BADAWCZYM

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań na odporność erozyjną sześciu wybranych tworzyw konstrukcyjnych stosowanych w budowie przepływowych maszyn i urządzeń hydraulicznych. W badaniach zwrócono uwagę na wpływ kąta usytuowania osi wirującej tarczy z umocowanymi w niej próbkami na wielkość ich erozyjnego zużycia. Badania i obserwacje przeprowadzono w Laboratorium Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej na specjalnie do tego celu zaprojektowanym uniwersalnym urządzeniu badawczym.

1. Wstęp

Niszczzenie elementów wewnętrznych przepływowych maszyn i urządzeń hydraulicznych może być spowodowane trzema zjawiskami:

- erozją, wynikającą głównie z istnienia zanieczyszczeń mechanicznych w przepływającej cieczy,
- korozją, spowodowaną własnościami chemicznymi bądź elektrycznymi cieczy,
- kawitacją, wywołaną spadkiem ciśnienia cieczy poniżej ciśnienia pary nasyconej przy danej temperaturze, bądź podwyższania się temperatury.

Podane zjawiska występują w czasie pracy w przepływowych maszynach i urządzeniach hydraulicznych najczęściej łącznie, jednak w różnym natężeniu. Jednak w konkretnych warunkach pracy głównym zjawiskiem niszczącym elementy wewnętrzne może być również jedno z wyżej wymienionych zjawisk [1 do 8].

W przypadku przepływu cieczy zwłaszcza mechanicznie zanieczyszczonej, zjawiskiem powodującym niszczenie jest przede wszystkim erozja [9 do 13]. Erozję występującą w przepływowych maszynach i urządzeniach hydraulicznych można podzielić na strumieniową i kroplową. Oba rodzaje erozji mogą być wywołane działaniem cieczy czystej bądź zanieczyszczonej mechanicznie np. piaskiem, żwirem, kruszywem itp.

Erozja strumieniowa wywołana przepływającą cieczą (czystą bądź przede wszystkim mechanicznie zanieczyszczonej) jest tym rodzajem erozji, który powoduje głównie niszczenie elementów w części hydraulicznej przepływowych maszyn i urządzeń hydraulicznych. Nawet czysta ciecz przepływająca przez przepływowe maszyny i urządzenia hydrauliczne po pewnym okresie czasu powoduje zniszczenia erozyjne. Niszczzenie erozyjne elementów wewnętrz-

nych potęguje się, jeżeli w cieczy znajdują się twarde cząsteczki ciał stałych. W przypadku erozji strumieniowej, cząsteczki ciała stałego poruszają się w cieczy w zasadzie równolegle do powierzchni elementów wewnętrznych i powodują swymi ostrymi krawędziami podłużne rysy, wyżłobienia bądź wytarcia na powierzchni elementów. Jeżeli w strumieniu cieczy znajduje się piasek, który powoduje niszczenie powierzchni elementów wewnętrznych maszyny bądź urządzenia, to ten rodzaj erozji nazywa się erozją strumieniowo-piaskową. Natomiast w przypadku jeżeli strumień cieczy bądź cieczy z cząsteczkami ciała stałego porusza się prostopadle bądź pod kątem do powierzchni elementów wewnętrznych, wówczas mamy do czynienia z erozją kropłową. Działanie erozji kropłowej polega na uderzeniach kropeł cieczy czystej bądź zanieczyszczonej ciałami stałymi o powierzchnię elementów wewnętrznych części przepływowej maszyn i urządzeń hydraulicznych.

Ten rodzaj erozji powoduje również mechaniczne niszczenie powierzchni elementów wywołane stosunkowo dużymi naprężeniami miejscowymi. Wielkość wywołanych naprężeń zależy od masy, kierunku i prędkości padających kropeł cieczy bądź cieczy z twardymi cząsteczkami ciała stałego.

Przewaga jednego z omówionych wyżej rodzajów erozji może występować w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego maszyny bądź urządzenia, spełnianej funkcji oraz umiejscowienia elementu wewnętrznego w części przepływowej.

Na wielkość ubywania tworzyw konstrukcyjnych elementów wewnętrznych maszyn i urządzeń mają wpływ [9, 10]:

- wielkość, kształt i rodzaj cząstek ciał stałych,
- prędkość względna i kąt podania cząstek ciał stałych znajdujących się w płynącej cieczy,
- koncentracja ciał stałych w cieczy,
- masa cząstek stałych,
- własności tworzywa konstrukcyjnego.

Rodzaj erozji oraz jej odmianę można rozpoznać i określić na podstawie charakteru uszkodzeń powierzchni elementów wewnętrznych.

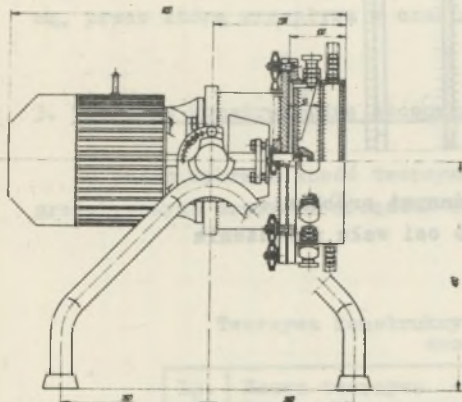
W Laboratorium Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej prowadzone są badania i obserwacje dotyczące trwałości tworzyw konstrukcyjnych w budowie przepływowych maszyn i urządzeń hydraulicznych w warunkach zagrożenia erozyjnego, kawitacyjnego i korozyjnego.

Ostatnio, między innymi, przeprowadzono serię badań dotyczących niszczącego działania erozji strumieniowej-piaskowej. Badania przeprowadzono na specjalnie opracowanym urządzeniu na próbkach z wybranych tworzyw konstrukcyjnych.

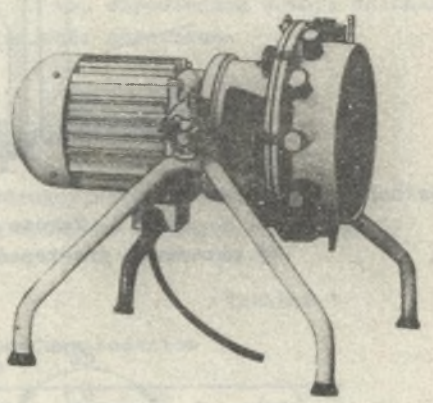
2. Stanowisko badawcze

Dla zrealizowania badań dotyczących niszczącego działania erozji strumieniowej-piaskowej zaprojektowano, skonstruowano i wykonano uniwersalne urządzenie badawcze. Urządzenie badawcze umożliwia badanie próbek, które mogą być atakowane pod różnymi kątami przez strumień wody z piaskiem.

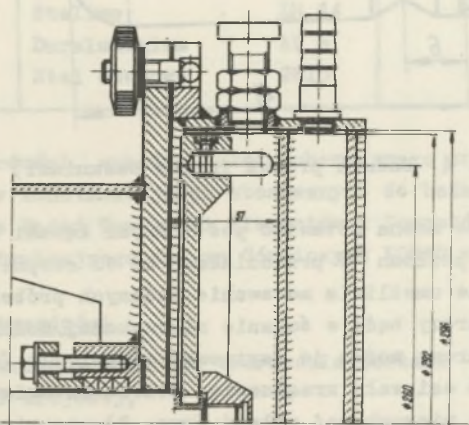
Urządzenie badawcze składa się z osłony (komory), w której znajduje się obracająca się tarcza oraz badane próbki, silnika elektrycznego typu SZJKd44b o mocy $N_S = 2,8$ kW na napięciu $U = 220/380$ V oraz podstawy (rys. 1 i 2).



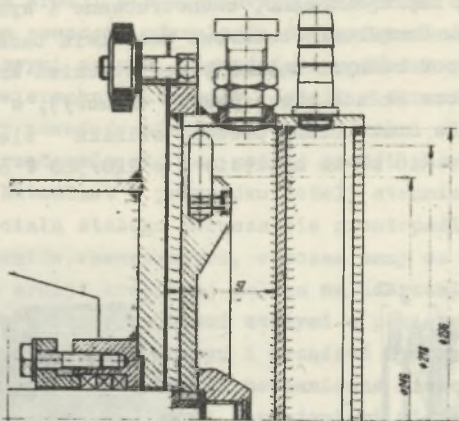
Rys. 1. Uniwersalne urządzenie do badań erozyjnych



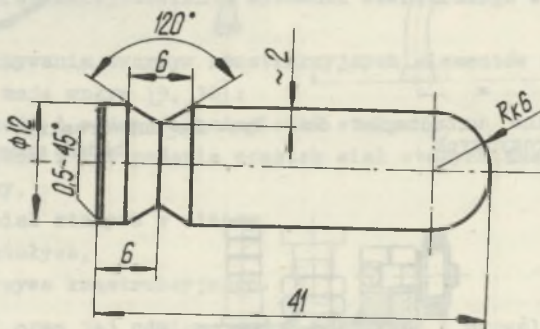
Rys. 2. Uniwersalne urządzenie do badań erozyjnych



Rys. 3. Tarcza z badanymi próbkami:
a) umocowana równoległe do osi wału urządzenia



Rys. 3. Tarcza z badanymi próbkami:
b) umocowana prostopadle do osi wału urządzenia

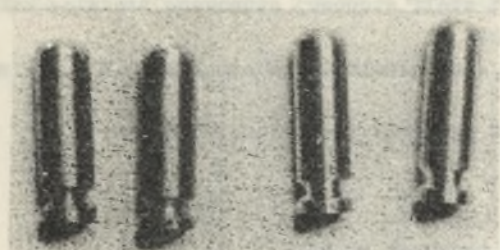


Rys. 4. Badana próbka (przed badaniami)

Urządzenie badawcze można ustawiać pod różnymi kątami w zakresie od 0° do 90° w stosunku do poziomu (w przedziałach co 10 stopni).

Urządzenie badawcze umożliwia mocowanie badanych próbek (o różnych kształtach) na wirującej tarczy bądź w ścianie nieruchomej osłony. W przypadku mocowania próbek w tarczy można je usytuować równolegle (rys. 3a) bądź prostopadle (rys. 3b) do osi wału urządzenia. Jeżeli natomiast badane próbki mocowane są w ścianie nieruchomej osłony (rys. 2), to wirująca tarcza posiada żebra (łopatki) do wywołania wirowania wody z piaskiem.

W obecnie zakończonej serii badań próbki z wybranych tworzyw konstrukcyjnych były umieszczone tylko w wirującej tarczy (równolegle i prostopadle do osi wału urządzenia). Aby dodatkowo stwierdzić jaki wpływ na znisz-



Rys. 5. Badane próbki (przed badaniami)

czą, przez którą przepływa w czasie badań woda chłodząca.

czenia erozyjne badanych próbek ma kąt usytuowania osi wału wirujących tarcz, urządzenie ustawiano pod kątami 30° , 60° i 90° . W badaniu stosowano próbki pokazane na rysunkach 4 i 5. Ze względu na wzrost temperatury w czasie badań w osłonie (komorze) wywołanej wirowaniem wody z piaskiem, przewidziano w urządzeniu odpowiednią komorę chłodzącą.

3. Tworzywa konstrukcyjne stosowane do badań

Do badań wybrano sześć tworzyw konstrukcyjnych stosowanych w badaniach przepływowych maszyn i urządzeń hydraulicznych, podanych w tablicy 1.

Tablica 1

Tworzywa konstrukcyjne poddane badaniom erozyjne

Lp.	Nazwa tworzywa - symbol	Gęstość ρ g/cm ³
1	Mosiądz MO 58	8,470
2	Brąz BK 331	8,80
3	Żeliwo Ż1 30	7,4441
4	Staliwo IH 14	8,0256
5	Duraluminium AK 6	2,76710
6	Stal stopowa 2H13	8,0140

Pomiary twardości, analizy składu chemicznego oraz badania metalograficzne tworzyw konstrukcyjnych stosowanych do badań zostały przeprowadzone w Zakładzie Badań Trwałości Elementów i Zespołów Centralnego Ośrodka Badawczo-Konstrukcyjnego Maszyn Górniczych KOMAG w Gliwicach.

3.1. Pomiary twardości

Pomiary twardości wykonano twardościomierzami

- HB produkcji krajowej,
- HP-250 produkcji NRD.

Pomiary te wykonano zgodnie z normą PN-57/M-04350 "Próba twardości metali sposobem Brinella".

Dla próbek: z żeliwa, staliwa i stali stopowej stosowano średnicę kulki $D = 5$ mm i obciążenie $G = 750$ kG.

Twardość próbek z brązu, mosiądzu i duraluminium badano kulką $D = 2,5$ mm i obciążeniem $G = 62,5$ kG.

Uzyskane wyniki z pięciu powtórzeń pomiarów zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Twardość badanych próbek

Lp.	Nazwa tworzywa	Symbol	Średnia twardość HB
			minimalna - maksymalna kG/mm ²
1	Mosiądz	MO 58	$\frac{143,8}{138 - 159}$
2	Brąz	BK 331	$\frac{108,9}{62,4 - 138,0}$
3	Żeliwo	Ż1 30	$\frac{191,0}{187 - 197}$
4	Staliwo	LH 14	$\frac{163,6}{163 - 166}$
5	Duraluminium	AK 6	$\frac{74,1}{43,7 - 121,0}$
6	Stal stopowa	2H13	$\frac{135,0}{131 - 137}$

3.2. Skład chemiczny

Analizę składu chemicznego przeprowadzono spektrofotometrem typu AA-5 firmy Varian. Węgiel, siarkę i fosfor oznaczono metodą "analizy mokrej" i przez spalenie.

Analizę powyższą wykonano zgodnie z obowiązującymi Polskimi Normami i wytycznymi dotyczącymi spektrofotometrów absorpcji atomowej.

Procentowe zawartości pierwiastków w poszczególnych próbkach zestawiono w tablicy 3.

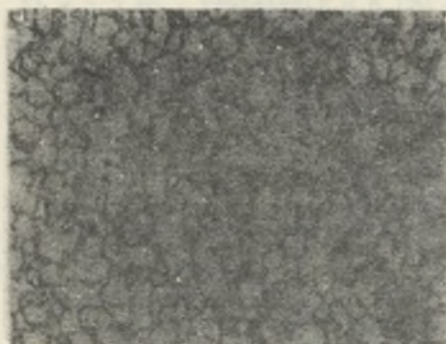
3.3. Badania metalograficzne

Badania metalograficzne przeprowadzono po odpowiednim przygotowaniu i wytrawieniu próbek. Do badań użyto mikroskopu typu MIM-7 produkcji ZSRR. Struktury poszczególnych badanych próbek przedstawiono na rysunkach 6-11.

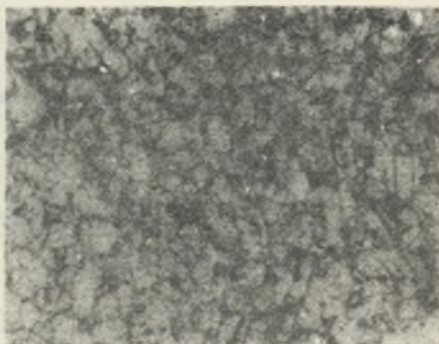
Tablica 3

Skład chemiczny badanych tworzyw konstrukcyjnych

Lp.	Nazwa tworzywa - symbol	Zawartość pierwiastków - %									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Zn	Fe	Sn
1	Mosiądz	-	-	-	0,010	0,011	-	56,00	32,81	0,40	-
2	Brąz	-	-	-	0,012	0,010	-	56,00	28,13	-	-
3	Żeliwo	3,29	0,42	2,22	0,032	0,126	0,20	0,08	-	resz.	-
4	Staliwo	0,08	0,26	0,25	0,020	0,010	11,61	-	-	resz.	-
5	Duraluminium	-	0,10	-	0,002	0,010	0,02	3,04	0,44	0,50	0,06
6	Stal stopowa	0,33	0,85	0,33	0,028	0,089	0,03	0,06	-	resz.	-



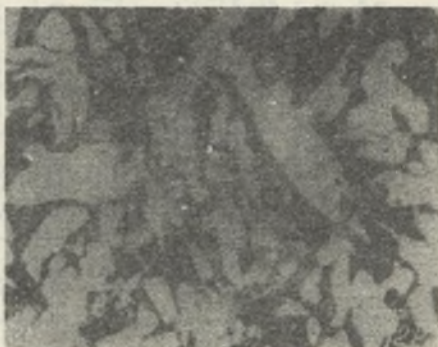
Rys. 6. Struktura mosiądzu Mo58
(450x)



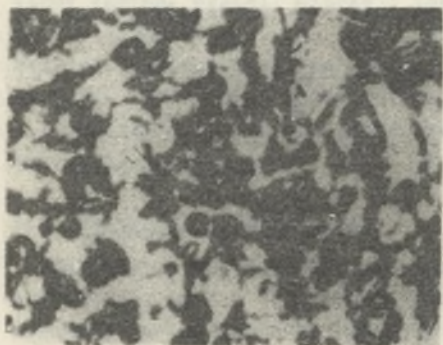
Rys. 7. Struktura brązu BK331
(450x)



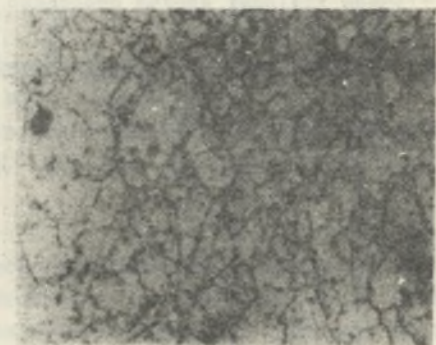
Rys. 8. Struktura żeliwa Ż130
(450x)



Rys. 9. Struktura staliwa LH14
(450x)



Rys. 10. Struktura duroluminium AK6
(450x)



Rys. 11. Struktura stali stopowej
2H13 (450x)

Tablica 4

Analiza sitowa piasku przed eksperymentem

Prześwit oczka P, mm	Odsiew, G		Odsiewy (suma 2+3) %	Odsiew prze- liczo- ny % X _i	Przeliczenie do ustalenia śred- niej średnicy ziarna X _i P _i	Średnia średnica ziarna δ _s mm	U w a g i
	próba I	próba II					
1,60	13,370	14,610	27,980	27,980	44,768	$\delta_s = \frac{\sum X_i P_i}{\sum X_i}$	ziarna o kształcie <u>zokraglonym</u>
0,80	31,490	29,730	61,220	61,220	48,976		
0,60	4,040	4,560	8,600	8,600	5,418	$\delta_s = \frac{100,0348}{100,000}$	barwa ziarna <u>biała</u>
0,40	1,070	1,070	2,140	2,140	0,856		
0,32	0,020	0,020	0,040	0,040	0,0128	$\delta_s = 1,0003 \text{ mm}$	powierzchnia ziarna <u>gładka</u>
0,20	0,010	0,010	0,020	0,020	0,004		
0,16	-	-	-	-	-	$\delta_s = 1,0003 \text{ mm}$	jednorodność wg BN-68/4021-19 piasek jednorod- ny J95
0,10	-	-	-	-	-		
0,071	-	-	-	-	-		
0,056	-	-	-	-	-		
denko	-	-	-	-	-		
Suma	50,000	50,000	100,000	100,000	100,0348		
Zawartość lepiszcza G, %	-	-	-	-	-		
Razem	50,000	50,000	100,000	100,000	100,0348		

Tablica 5

Analiza sitowa piasku po eksperymencie

Prześwit ocznka sita p. mm	Odsiew, g		Odsiewy (suma 2+3) %	Odsiew prze- liczo- ny % X_i	Przeliczenie do ustalenia śred- niej średnicy ziarna $X_i P_i$	Średnia śred- nica ziarna δ_B mm $\delta_B = \frac{\sum X_i P_i}{\sum X_i}$	U w a g i
	próbka I	próbka II					
1,60	1,560	1,270	2,830	2,918	4,6588	$\delta_B = \frac{4,6588}{100,000} = 0,046588$	ziarna o kształcie <u>zaokrąglonym</u>
0,80	19,100	20,890	39,990	41,252	33,0016	$\delta_B = \frac{33,0016}{100,000} = 0,330016$	barwa ziarna <u>żółta</u>
0,63	12,670	12,320	24,990	25,785	16,2446	$\delta_B = \frac{16,2446}{100,000} = 0,162446$	powierzchnia ziarna <u>szadka</u>
0,40	7,000	6,230	13,230	13,647	5,4588	$\delta_B = \frac{5,4588}{100,000} = 0,054588$	jednorodność wg BW-68/4021-19
0,32	2,650	2,470	5,120	5,281	1,6899	$\delta_B = \frac{1,6899}{100,000} = 0,016899$	piasek małojednorod- ny <u>M-80</u>
0,20	1,850	1,750	3,600	3,713	0,7426	$\delta_B = \frac{0,7426}{100,000} = 0,007426$	
0,16	0,820	0,770	1,590	1,640	0,2624	$\delta_B = \frac{0,2624}{100,000} = 0,002624$	
0,10	1,270	1,220	2,490	2,568	0,2568	$\delta_B = \frac{0,2568}{100,000} = 0,002568$	
0,071	0,490	0,520	1,010	1,041	0,0739	$\delta_B = \frac{0,0739}{100,000} = 0,000739$	
0,056	0,470	0,460	0,930	0,959	0,0537	$\delta_B = \frac{0,0537}{100,000} = 0,000537$	
denko	0,590	0,570	1,160	1,196			
Suma	48,470	48,470	96,940	100,000	62,4431		
Zawartość lepisz- cza g, %	1,53	1,53	3,06				
Razem	50,000	50,000	100,000				

4. Piasek użyty do badań

Do badań użyto piasku kwarcowego. Badania piasku przeprowadzono w Instytucie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej.

W czasie przeprowadzenia eksperymentów piasek badano kilka razy. Ponieważ wyniki były zbliżone, w pracy podano tylko wyniki dwu badań piasku przed eksperymentem i po przeprowadzeniu badań. Wyniki badań piasku podano w tablicy 4 i 5.

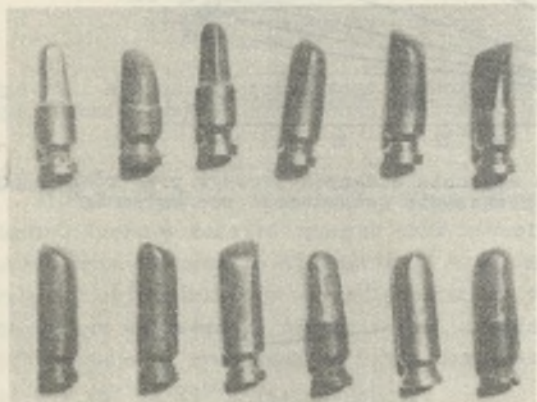
Podczas eksperymentów koncentracja objętościowa piasku w wodzie wynosiła $Y = 1:3$. Objętościową koncentrację piasku w wodzie badano za pomocą wycechowanej kolby. W celu utrzymania w czasie badań stałych własności piasku oraz jego koncentracji w wodzie, co dwie godziny wymieniano wodę i piasek. W czasie prowadzenia badań stwierdzono, że mimo wirowania tarczy w komorze urządzenia badawczego, w dolnej części komory znajdowało się więcej piasku jak w górnej. Ponadto stwierdzono, że po dwugodzinnym okresie badań piasek ulegał rozdrobnieniu oraz był zanieczyszczony drobnymi częściami tworzyw konstrukcyjnych z próbek poddanych badaniom.

5. Sposób przeprowadzenia badań

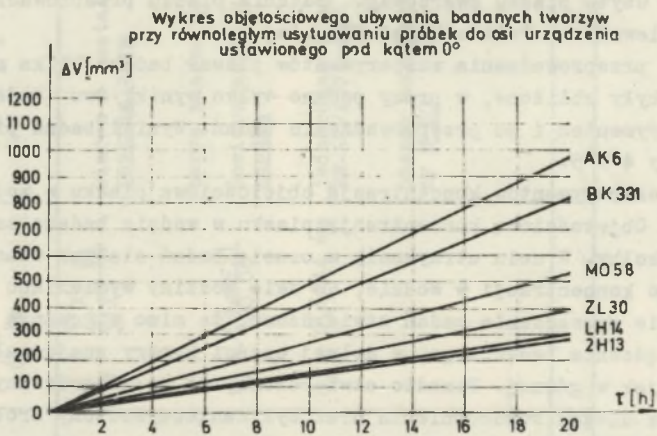
Badania dotyczyły sześciu różnych tworzyw konstrukcyjnych podanych w tablicy 1 i 2. Przy każdym kącie ustawienia urządzenia badawczego oraz przy każdym zamocowaniu próbek równoległym i prostopadłym były badane po dwie próbki z danego tworzywa konstrukcyjnego.

Badane próbki ważono na wadze analitycznej typu A-4 (z dokładnością do 0,001 g) przed rozpoczęciem badań oraz następnie w czasie badań co dwie godziny. Przed każdym pomiarem próbki dokładnie płukano w czystej wodzie i suszono. Badania obejmowały pomiary ubywania masy próbek Δm w funkcji

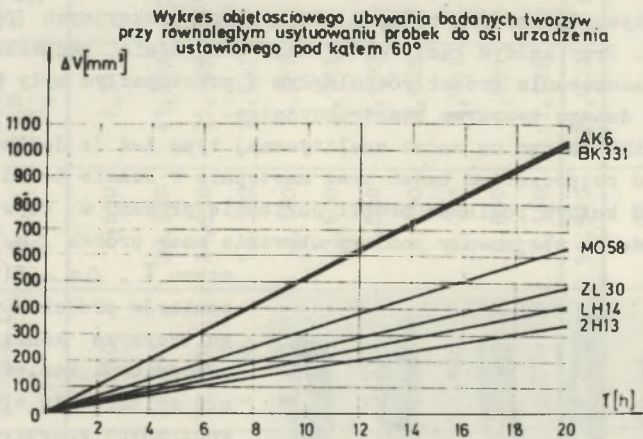
czasu τ , $\Delta m = f(\tau)$. Wyniki pomiarów próbek z tego samego tworzywa konstrukcyjnego uśredniono. Ponieważ o stopniu zniszczenia elementów wewnętrznych przepływowych maszyn i urządzeń hydraulicznych nie decyduje ubytek masy, lecz ubytek objętości [11], dlatego uśrednione wyniki badań przedstawiono po przeliczeniach jako funkcję ubywania objętości próbek ΔV w czasie $\Delta \tau$, $\Delta V = f(\tau)$. Badane próbki po badaniach pokazano na rysunku 12.



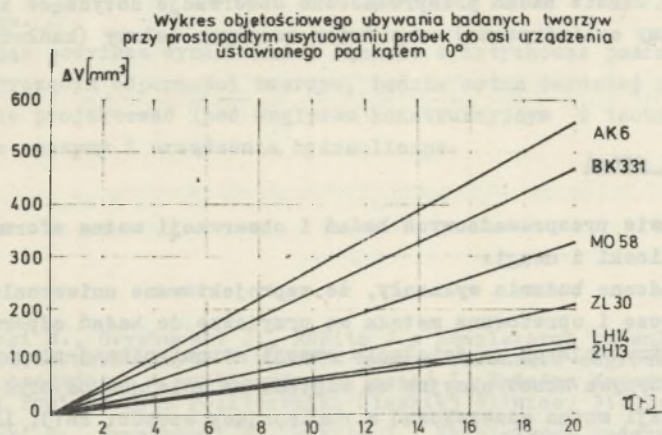
Rys. 12. Badane próbki (po badaniach)



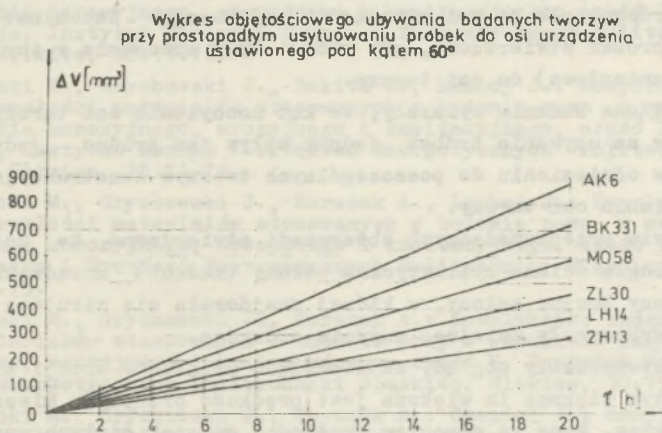
Rys. 13. Wykres objętościowego ubywania badanych tworzyw przy równoległym usytuowaniu próbek do osi urządzenia ustawionego pod kątem 0°



Rys. 14. Wykres objętościowego ubywania badanych tworzyw przy równoległym usytuowaniu próbek do osi urządzenia ustawionego pod kątem 60°



Rys. 15. Wykres objętościowego ubywania badanych tworzyw przy prostokątnym (promieniowym) usytuowaniu próbek do osi urządzenia ustawionego pod kątem 0°



Rys. 16. Wykres objętościowego ubywania badanych tworzyw przy prostokątnym (promieniowym) usytuowaniu próbek do osi urządzenia badawczego pod kątem 60°

Dla przykładu w publikacji podano wykresy objętościowego ubywania badanych tworzyw konstrukcyjnych przy równoległym usytuowaniu próbek do osi urządzenia badawczego dla kątów 0° i 60° na rysunkach 13 i 14. Natomiast wykresy objętościowego ubywania badanych tworzyw konstrukcyjnych przy prostokątnym usytuowaniu próbek do osi urządzenia ustawionego pod kątem 0° i 60° , podano na rysunkach 15 i 16. Temperatura wody z piaskiem wahała się od $t = 287$ do 297°K (14 do 24°C).

Ponadto w czasie badań przeprowadzono obserwacje dotyczące zużycia erozyjnego ściany cylindrycznej oraz ścian bocznych osłony (kadłuba) urządzenia.

6. Wnioski i uwagi

Na podstawie przeprowadzonych badań i obserwacji można sformułować następujące wnioski i uwagi:

- a) Przeprowadzone badania wykazały, że zaprojektowane uniwersalne urządzenia badawcze i opracowana metoda są przydatne do badań odporności tworzyw konstrukcyjnych na działanie erozji strumieniowej-piaskowej.
- b) Badane tworzywa konstrukcyjne ze względu na malejącą odporność na działanie erozji można uszeregować w następujący sposób: 2H13, LH14, Ż130, MO58, BK331, AK6.
- c) Badania wykazały, że sposób umocowania próbek w tarczy ma wpływ na wielkość ubywania erozyjnego tworzyw konstrukcyjnych. Większe ubywanie badanych próbek następowało w zasadzie w przypadku, gdy próbki były zamocowane równolegle do osi urządzenia badawczego. Natomiast mniejsze ubywanie próbek stwierdzono, gdy próbki były umocowane w tarczy prostopadle (promieniowo) do osi tarczy.
- d) Przeprowadzone badania wykazały, że kąt nachylenia osi tarczy ma pewien wpływ na ubywanie próbek, jednak wpływ ten trudno jednoznacznie określić w odniesieniu do poszczególnych tworzyw konstrukcyjnych i kątów nachylenia osi tarczy.
- e) Na podstawie przeprowadzonych obserwacji stwierdzono, że największemu zużyciu uległa ściana cylindryczna osłony (kadłub) urządzenia, natomiast ściany boczne osłony, w której znajdowała się wirująca tarcza z próbkami wykazywały mniejsze zużycie erozyjne.
- f) Badania potwierdziły pogląd, że niszczące działanie erozji strumieniowej jest tym większe im większa jest prędkość przepływu mieszaniny wody z piaskiem. Wraz ze wzrostem prędkości cząstek stałych wzrasta siła ich uderzenia w powierzchnię badanych próbek, co powoduje wzrost ubytków tworzyw. Zjawisko to wystąpiło w miejscach, gdzie powierzchnia próbek była najbardziej oddalona od osi obrotu tarczy urządzenia. Jednak wpływ ten nie był jednoznaczny, ponieważ stwierdzono różnice w przypadku różnych badanych tworzyw konstrukcyjnych i różnych kątów nachylenia urządzenia badawczego.

Dalsze eksperymenty powinny dotyczyć badań na ścieralność erozyjną próbek umieszczonych w nieruchomej ścianie osłony (komory), uniwersalnego urządzenia w podobnych warunkach oraz porównania otrzymanych wyników z wynikami uzyskanymi w tej pracy badawczej. Dalsze badania powinny obejmować doświadczenia zmierzające do ustalenia pod jakim kątem natarcia strugi wo-

dy z piaskiem na próbkę następuje największy ubytek danego tworzywa konstrukcyjnego.

Posiadając powyższe wyniki badań łącznie z dotychczas posiadanym rozoznaniem dotyczącym odporności tworzyw, będzie można bardziej prawidłowo i ekonomicznie projektować (pod względem konstrukcyjnym i technologicznym) przepływowe maszyny i urządzenia hydrauliczne.

LITERATURA

- [1] Zarzycki M., Grychowski J., Rokita J.: Kompleksowe badanie trwałości materiałów stosowanych w budowie pomp w warunkach zagrożenia korozyjnego, erozyjnego i kawitacyjnego, część I, Katedra Maszyn Hydraulicznych i Powietrznych Politechniki Śląskiej Gliwice, 31.07.71.
- [2] Zarzycki M., Grychowski J., Rokita J.: Kompleksowe badania trwałości materiałów stosowanych w budowie pomp w warunkach zagrożenia korozyjnego, erozyjnego i kawitacyjnego, część II, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej Gliwice, 30.11.71.
- [3] Zarzycki M., Grychowski J., Rokita J., Lamboj J.: Kompleksowe badanie trwałości materiałów stosowanych w budowie pomp w warunkach zagrożenia korozyjnego, erozyjnego i kawitacyjnego, część III, A - Kawitacja, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, Gliwice, 30.11.72.
- [4] Zarzycki M., Grychowski J., Rokita J., Lamboj J.: Kompleksowe badanie trwałości materiałów stosowanych w budowie pomp w warunkach zagrożenia korozyjnego, erozyjnego i kawitacyjnego, część III, B - Korozja, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, Gliwice, 30.11.72.
- [5] Zarzycki M., Grychowski J., Korczak A., Lamboj J.: Kompleksowe badanie trwałości materiałów stosowanych w budowie pomp w warunkach zagrożenia korozyjnego, erozyjnego i kawitacyjnego, część IV, Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej Gliwice, 30.11.73.
- [6] Zarzycki M., Grychowski J., Korczak A.: Kompleksowe badanie trwałości materiałów stosowanych w budowie pomp w warunkach zagrożenia korozyjnego, erozyjnego i kawitacyjnego, część V, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, Gliwice, 30.11.74.
- [7] Zarzycki M., Grychowski J., Korczak A., Czepiel J.: Kompleksowe badania trwałości materiałów stosowanych w budowie pomp w warunkach zagrożenia korozyjnego, erozyjnego i kawitacyjnego, część VI, Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej Gliwice, 15.07.75.
- [8] Zarzycki M., Grychowski J., Korczak A., Gontarczuk Z., Jura S., Czepiel J.: Kompleksowe badanie trwałości materiałów stosowanych w budowie pomp w warunkach zagrożenia korozyjnego, erozyjnego i kawitacyjnego, część VII, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej Gliwice, 15.11.75.
- [9] Suprun W.: Abrazywnyj iznoś gruntowych nasosow i borba s nim, Maszynostrojenie, Moskwa 1972.
- [10] Kartiszow A., Penkyn N., Pogodaew L.: Iznosostojkost detalej zemsnarjadow, Maszynostrojenie, Leningrad 1972.
- [11] Zarzycki M.: Scieralność erozyjna wirników pomp wirowych w zależności od stosowanego materiału, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Energetyka 7, Gliwice 1961.

- [2] Morzyński S.: Dobór tworzywa na elementy pomp wirowych do cieczy zawierających ciała stałe, Przegląd Mechaniczny nr 2, 1972.
- [3] Zarzycki M., Siwicki J.: Erozyjna odporność wybranych tworzyw konstrukcyjnych stosowanych w budowie pomp dla górnictwa, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Energetyka 52, Gliwice 1974.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОБРАЗЦОВ
ИЗ ОТОБРАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
В УНИВЕРСАЛЬНОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Р е з ю м е

В работе представлены результаты исследований эрозионной устойчивости 6 отобранных конструкционных материалов, применяемых в строении турбомашин и гидроустановок. В исследованиях обращено внимание на влияние угла местоположения оси вращающегося диска с закреплёнными в нём образцами на величину их эрозионного износа.

Исследования и наблюдения были проведены в Лаборатории машин и гидроустановок Института машин и энергоустановок Силезского политехнического института на специально спроектированном для этой цели испытательном оборудовании.

TEST RESULTS OF EROSION RESISTANCE OF SELECTED STRUCTURAL
MATERIAL SAMPLES OBTAINED FROM THE UNIVERSAL TESTING DEVICE

S u m m a r y

The paper presents results of erosion resistance tests of the 6 selected structural materials applied in flow machines and hydraulic devices construction. Special attention has been paid to the effect of the spinning disc axis angle upon their erosion wear, the samples being fixed in the disc.

Tests and observations were done at the Machines and Hydraulic Equipment Laboratory at the Machines and Power Equipment Institute of the Silesian Polytechnical University on a specially designed universal testing device.