

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
I N S T Y T U T M A S Z Y N P R Z E P Ł Y W O W Y C H

PRACE
I N S T Y T U T U M A S Z Y N
P R Z E P Ł Y W O W Y C H

T R A N S A C T I O N S
O F T H E I N S T I T U T E O F F L U I D - F L O W M A C H I N E R Y

67-68

W A R S Z A W A - P O Z N A Ń 1 9 7 5

P A Ń S T W O W E W Y D A W N I C T W O N A U K O W E

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPLYWOWYCH

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

KOMITET REDAKCYJNY - EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER - REDAKTOR - EDITOR
JERZY KOŁODKO · JÓZEF ŚMIGIELSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

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

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1975

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 380+90 egz.

Ark. wyd. 28,5. Ark. druk. 22

Pap. druk. sat. kl. V, 70 g 70×100 cm

Nr zam. 112/77

Oddano do składania 10 I 1975 r.

Podpisano do druku 20 IX 1975 r.

Druk ukończono we wrześniu 1975 r.

R-17/661 Cena zł 86,-

DRUKARNIA UNIwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu

HYDROFORUM

KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

na temat

WSPÓLCZESNE PROBLEMY BADAŃ
I EKSPLOATACJI MASZYN HYDRAULICZNYCH

Gdańsk, 3 - 5 października 1973 r.

*

HYDROFORUM

SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE

on

MODERN PROBLEMS OF RESEARCH AND
UTILIZATION OF HYDRAULIC MACHINES

Gdańsk, October 3 - 5, 1973

*

ГИДРОФОРУМ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

на тему

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН

г. Гданьск, 3 - 5 октября 1973 г.

JAN KOTERSKI

Wrocław*

Badania modelowe zespołów przepływowych pomp wirowych do transportu hydraulicznego rozdrobnionych ciał stałych o własnościach silnie ścierających

1. Wstęp

W wyniku intensywnego rozwoju krajowych zakładów przeróbki rud metali nieżelaznych, wystąpiło w ostatnich latach zwiększone zapotrzebowanie na trwałe i niezawodne pompy wirowe do hydrotransportu produktów wzbogacania. Wobec niezadowalającego poziomu technicznego stosowanych obecnie pomp produkcji krajowej [5], Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej prowadzi kompleksowe prace badawcze, mające na celu poprawę istniejącego stanu w tej dziedzinie.

Jedną z realizowanych grup tematycznych stanowią badania zespołów przepływowych pompy modelowej. Celem tych badań, prowadzonych wspólnie z Zakładem Doświadczalnym „Cuprum” – KGHM Lubin, jest określenie zasad racjonalnego konstruowania, doboru tworzyw oraz eksploatacji pomp wirowych do transportu hydraulicznego rozdrobnionych ciał stałych o własnościach silnie ścierających (a szczególnie do hydrotransportu produktów wzbogacania rud miedzi).

2. Procesy zużycia zachodzące w zespołach przepływowych pomp wirowych przetłaczających rozdrobnione ciała stałe o własnościach silnie ścierających

Przyczyną częstego wyłączenia z ruchu pomp wirowych stosowanych w transporcie hydraulicznym rozdrobnionych ciał stałych o własnościach silnie ścierających jest zużycie elementów konstrukcyjnych, będących w bezpośrednim kontakcie z przetłaczaną mieszaniną. Przez zużycie elementu [8] rozumie się tu trwałe, niepożądane zmiany jego stanu, zachodzące w czasie eksploatacji w sposób ciągły, w wyniku czego okres zdolności do spełniania przez element określonej funkcji użytkowej stopniowo się wyczerpuje. Uszkodzenie elementu, w odróżnieniu od zużycia, charakteryzuje się nagłym zaistnieniem trwałych, niepożądanych zmian jego stanu, w wyniku czego element traci zdolność spełniania określonej funkcji użytkowej.

* Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wroclawska.

Stan elementu określają dwie grupy czynników [8]:

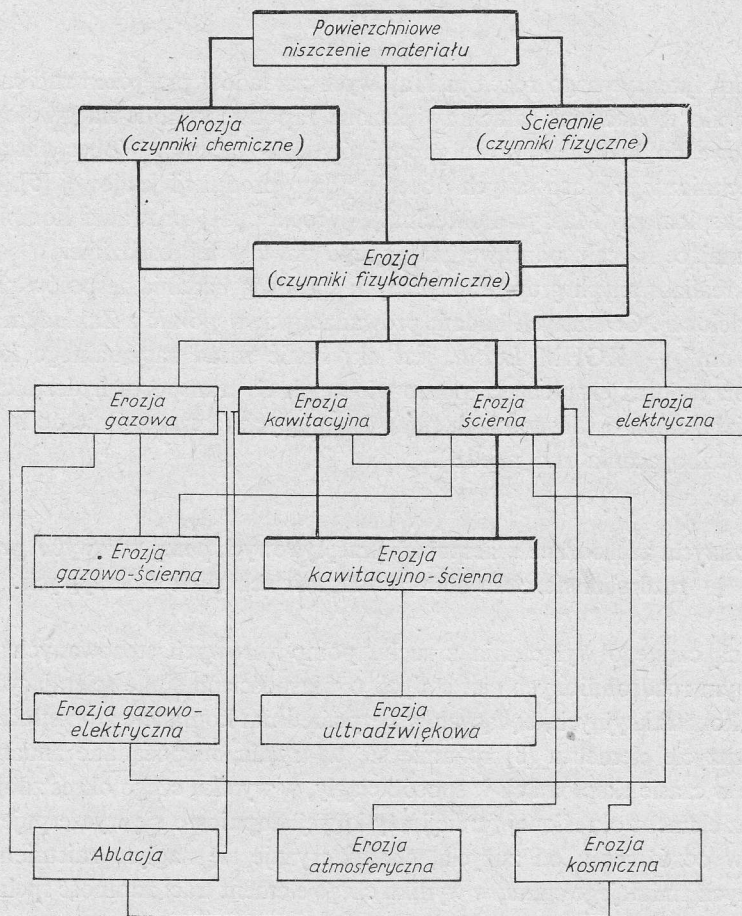
– czynniki stereometryczne, do których należą: kształt elementu, jego wymiary i ciężar, chropowatość i falistość powierzchni, kierunkowość śladów obróbki oraz wszelkie skażenia powierzchni w postaci wyżłobień, wżerów, pęknięć itp.,

– czynniki fizyczne, tj. skład chemiczny, struktura, twardość oraz ewentualne parametry pochodne.

O zużyciu elementu decyduje całokształt zmian jego stanu.

Elementami pomp szczególnie narażonymi na zużycie, są najczęściej: wirnik, kanał zbiorczy, króciec ssawny i tłoczny oraz wkładki ochronne korpusu. Zespół utworzony z wymienionych części wyodrębniono [4] jako zespół przepływowy (względnie hydrauliczny) pompy (por. rys. 3).

Aby móc w jak największym stopniu przeciwdziałać zużyciom zespołów przepływowych pomp, konieczne jest dokładne poznanie mechanizmu zachodzących zniszczeń.



Rys. 1. Schemat klasyfikacji typów powierzchniowego niszczenia materiałów (wg [15])

Linia grubą wyodrębniono zużycia, których zachodzeniu sprzyjają warunki istniejące w zespołach przepływowych pomp do hydrotransportu

Jako podstawę do analizy tych procesów przyjęto schemat strukturalny typów powierzchniowego niszczenia materiałów (rys. 1).

W oparciu o dane literaturowe [2, 3, 7 - 16], w pracy [6] przedstawiony został stan dotychczasowych badań laboratoryjnych nad tymi rodzajami zniszczeń, których występowaniu sprzyjają zjawiska zachodzące w zespołach przepływowych pomp do hydrotransportu. Zestawienie warunków decydujących o zaistnieniu poszczególnych rodzajów zniszczeń, w połączeniu z wynikami badań własnych dotyczących rozmieszczenia i charakteru zużycia elementów zespołów hydraulicznych pomp różnych typów [4 - 6, 17], wskazuje na dominującą rolę erozyjno-ściernego oddziaływania przetłaczanej mieszaniny. Udział korozji oraz erozji kawitacyjno-ścierniej (przy spełnieniu warunków prawidłowego doboru pompy i poprawnej jej eksploatacji) w ogólnym efekcie zużycia jest najczęściej znikomy, bowiem:

– odczyn chemiczny mieszanin jest w przeważającej ilości przypadków bliski obojętnemu,

- czas pracy zespołów przepływowych pomp jest stosunkowo krótki,
- pompy pracują zazwyczaj z napływem.

Przy zaistnieniu warunków znacznie różniących się od wymienionych powyżej, udział obu tych typów niszczeń może wzmacniać proces zużycia erozyjno-ściernego.

Charakterystyczną cechą zużycia erozyjno-ściernego jest jednoczesne występowanie dwu jego postaci [3, 4, 7, 17] (por. rys. 5)

- zużycia powierzchniowego (ogólnego),
- zużycia miejscowego (lokalnego).

Zużycie ogólne cechuje ciągle narastanie ubytków masy elementu na całej jego powierzchni będącej w kontakcie z przetłaczaną mieszaniną. Powierzchnia ta ulega wygładzeniu, przy czym, w zależności od własności mechanicznych materiału i sposobu oddziaływania ośrodka, występuje charakterystyczna falistość oraz wyraźne ukierunkowanie wgłębień.

Zużycie lokalne charakteryzuje się głębokimi wdrażeniami w warstwie wierzchniej elementu. Występuje ono najczęściej w wyniku gwałtownej zmiany kierunku i prędkości przepływu mieszaniny, jak również na skutek zaistnienia czynników przypadkowych, takich jak: wady technologiczne (niejednorodność materiału), błędy montażu itp. Intensywność zużycia miejscowych, rozumiana jako stosunek ubytków masowych (względnie objętościowych) materiału do czasu w jakim one występują, jest wielokrotnie większa od intensywności zużycia ogólnych. Z tego względu występowanie zużycia miejscowych wywiera niejednokrotnie decydujący wpływ na czas pracy zespołu przepływowego pompy.

Przy założeniu poprawności rozwiązania konstrukcyjno-hydraulicznego zespołu przepływowego, wirnik, jako element przekazujący energię pompowanej mieszaninie jest najbardziej narażony na jej erozyjno-ściernie oddziaływanie.

3. Badanie wpływu własności materiałów i warunków eksploatacyjnych na zużycie wirników pompy modelowej przetłaczającej produkty wzbogacania rudy miedzi

Dotychczas stosowane metody badań odporności materiałów na erozję ścierną polegają zazwyczaj na laboratoryjnych pomiarach zużycia próbek [3, 7, 9, 10], przy czym pomiary te przeprowadzane są w warunkach modelowania rzeczywistych procesów występujących

w eksploatacji. Najczęściej modelowaniu podlega skład mieszaniny oraz jej przepływ, co umożliwia ściśle określenie większości czynników istotnie wpływających na wyniki doświadczeń. Wyniki te, podawane z reguły w postaci uszeregowania użytych do badań materiałów pod względem ich odporności na zużycie erozyjno-ścierne, nie znajdują jednak dostatecznego potwierdzenia w późniejszej eksploatacji maszyn roboczych.

Celem omawianych poniżej prac, stanowiących I etap realizacji planu kompleksowych badań modelowych (por. punkt 5), jest określenie, w jakim stopniu charakter i rozmieszczenie zużycia wirników doświadczalnych zależy od własności materiału. Poznanie tej zależności pozwoliłoby na stosowanie w dalszych badaniach tworzyw szybkościeralnych, z możliwością do uogólnienia otrzymanych tą drogą wyników na inne materiały. Skróciłoby to znacznie czas potrzebny na realizację planowanych prac badawczych. Zakres I etapu badań przewiduje przeprowadzenie doświadczeń na wirnikach tej samej konstrukcji (8-łopatkowych, jednostronnie otwartych) wykonanych z następujących materiałów:

- żeliwa szarego Zl 20,
- żeliwa szarego modyfikowanego,
- siluminu AM 75,
- mosiądzu Mo 59,
- brązu B 555,
- żeliwa wysokochromowego,
- staliwa stopowego,
- tworzywa szklano-krystalicznego (agalit) oraz wirnikach pokrytych powłokami

ochronnymi z:

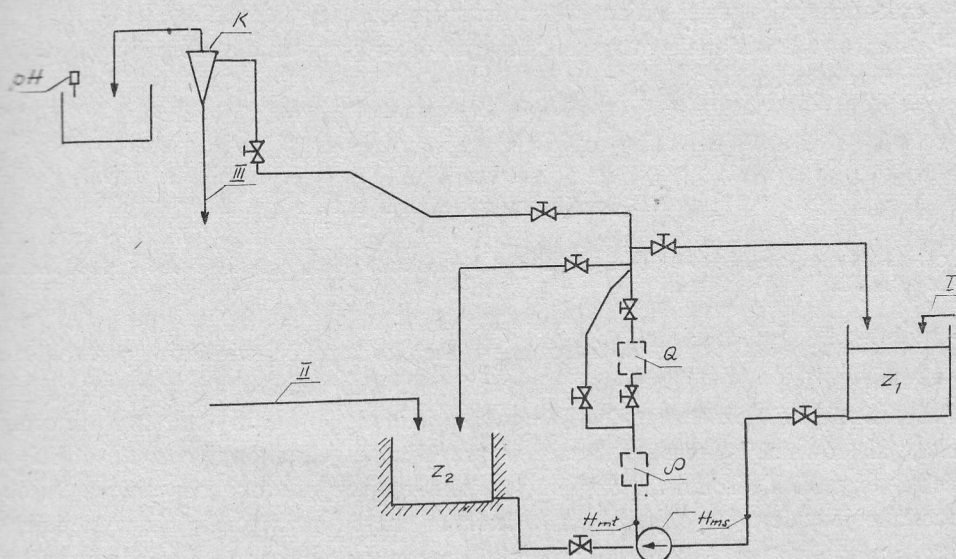
- gumy,
- tworzyw poliamidowych,
- emalii.

Do chwili obecnej zrealizowano część z planowanych pomiarów.

Stanowisko doświadczalne, którego układ przedstawiono schematycznie na rys. 2, zostało szczegółowo opisane uprzednio [4]. Pompa modelowa (pompa 50 Z2K-6, produkcji Kieleckiej Fabryki Pomp „Białogon”) z zespołem hydraulicznym adaptowanym do warunków swobodnego przepływu (rys. 3), zainstalowana została w ciągu technologicznym, prowadzonego w skali półtechnicznej, procesu przeróbki rud miedzi ZD „Cuprum” – KGHM Lubin. Stanowisko doświadczalne pompy usytuowano przy rzapiu pierwszego mielenia, do którego dopływa nadawa flotacyjna z wylewu młyna domielającego i przelewu klasyfikatora zwojowego. Ten sposób lokalizacji zapewnia:

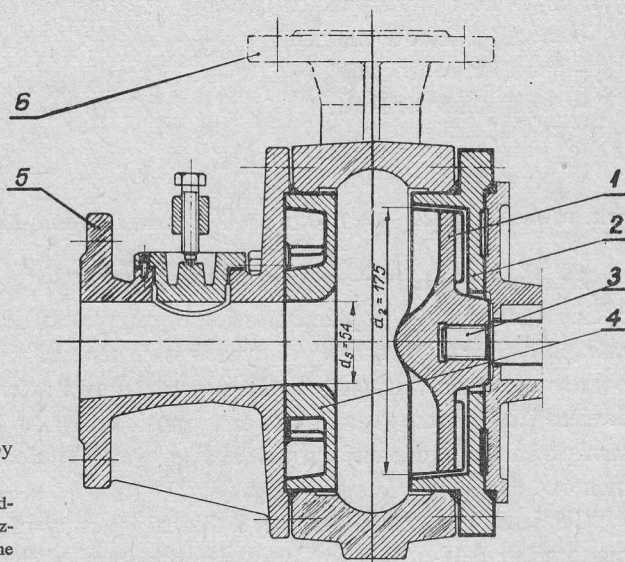
- pracę pompy w rzeczywistych warunkach instalacyjno-eksploatacyjnych,
- ciągły dopływ świeżej nadawy,
- stosunkowo krótki czas pracy wirników, ze względu na występujące w tym miejscu ciągu technologicznego szczególnie intensywne oddziaływanie erozyjno-ścierne pompowanej mieszaniny.

Badanie wirników doświadczalnych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych ma umożliwić maksymalne wykorzystanie uzyskanych wyników dla potrzeb zakładów przeróbki mechanicznej rud miedzi. Ten sposób prowadzenia badań pociąga za sobą duże trudności wynikające z ograniczeń spowodowanych koniecznością utrzymania ciągłości procesu technologicznego, a ponadto stwarza możliwość zaistnienia braku porównywal-



Rys. 2. Schemat stanowiska doświadczalnego

P – pompa modelowa, *Z*₁ – zbiornik wody czystej, *Z*₂ – rzapie nadawy, *Z*₃ – mieszalnik, *K* – klasyfikator (hydrocyklon), *H*_{ms} – manometr U-rurkowy, *H*_{mt} – manometr z rurką Bourdona, *ρ* – gęstościomierz izotopowy, *Q* – przepływomierz indukcyjny, *pH* – pH-metr, *I* – dopływ wody czystej, *II* – dopływ nadawy, *III* – odprowadzenie do młyna kulowego



Rys. 3. Zespół przepływowy pompy modelowej

1 – wirnik, *2* – wkładka tylna, *3* – wał, *4* – wkładka przednia, *5* – króciec ssawny, *6* – króciec tłoczny. Linią grubą narysowano części wprowadzone w miejsce typowych elementów pompy 50 Z2K-6

ności wyników, bowiem w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych niezmiernie trudno jest określić jednocześnie wszystkie czynniki wpływające na końcowy rezultat doświadczeń. Wymienione niedogodności tej metody starano się usunąć poprzez:

– zastosowanie pompy rezerwowej, która przejmie rolę pompy modelowej w czasie wymiany zużytych elementów zespołu przepływowego,

- dokładną rejestrację zmian własności przetłaczanej mieszaniny,
- przeprowadzenie analizy uzyskanych wyników w grupach, dla których występowały podobne warunki badań.

3.1. Sposób przeprowadzania badań

3.1.1. Określenie wybranych czynników stereometrycznych i fizykalnych wirników przed przystąpieniem do pomiarów na stanowisku doświadczalnym

Czynniki stereometryczne. Założenie stałej konstrukcji wirników pozwoliło na stosowanie przy ich odlewaniu tego samego modelu. W efekcie, wymiary poszczególnych wirników różnią się nieznacznie. Dla zachowania jednolitej struktury warstwy wierzchniej wirnika, jak również w celu uzyskania w przybliżeniu jednakowej chropowatości powierzchni wszystkich wirników, zrezygnowano z korygującej obróbki skrawaniem. Obróbce tej poddano jedynie tylne części piast, w których zużycie praktycznie nie występuje, co oprócz zapewnienia prawidłowego montażu, pozwala zredukować do jednej wartości ciężary wirników, w ramach każdej z grup materiałowych.

Czynniki fizykalne. Wirniki z tego samego materiału odlane zostały w trakcie jednego wytopu. Umożliwia to określenie czynników fizykalnych dla wirników z poszczególnych grup materiałowych na podstawie badań jednego wirnika z każdego materiału. Określenie tych czynników w przypadku tworzyw metalowych obejmuje:

- analizę składu chemicznego,
- pomiar twardości,
- opis mikrostruktur.

3.1.2. Wyznaczenie charakterystyk $H=f(Q)$ pompy modelowej z nowymi elementami zespołu przepływowego

Przetłaczanie przez pompę modelową nadawy flotacyjnej w układzie rzapie–hydrocyklon (por. rys. 2) poprzedzane jest w przypadku każdego nowego wirnika pomiarem zależności $H=f(Q)$, dokonywanym w obiegu zamkniętym wody czystej. Zadaniem tego pomiaru jest sprawdzenie, czy dla poszczególnych wirników doświadczalnych przed podaniem ich procesowi zużycia erozyjno-ściernego, charakterystyka $H=f(Q)$ ma ten sam przebieg, gwarantujący jednakowe warunki początkowe dla wszystkich eksperymentów.

Ciśnienia po stronie ssawnej i tłocznej pompy mierzone są odpowiednio rtęciowym manometrem U-rurkowym oraz manometrem z rurką Bourdona.

Pomiar natężenia przepływu przeprowadzany jest przepływomierzem indukcyjnym produkcji radzieckiej (typ JP-11), przy czym skalowanie i okresowa kontrola wskazań przyrządu odbywa się metodą pomiaru objętościowego.

Zależność $H=f(Q)$ dla poszczególnych wirników nowych wyznaczana jest każdorazowo w praktycznie jednakowych warunkach, co powoduje, że otrzymane wyniki obarczone są błędami tego samego rzędu.

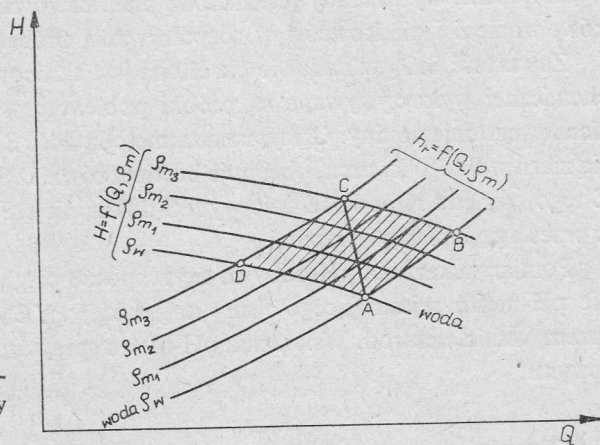
3.1.3. Przetłaczanie przez pompę nadawy flotacyjnej w układzie rzapie – hydrocyklon

W tej części badań wirniki doświadczalne, wraz z pozostałymi elementami zespołu przepływowego pompy, podlegają ciągłemu procesowi niszczenia na skutek erozyjno-ściernego oddziaływania przetłaczanej mieszaniny. Jako kryterium wyłączania pompy z ciągu technologicznego zakładu przyjęto dopuszczalną wartość spadku wysokości podnoszenia $\Delta H = 6$ m sł. wody. Dotychczasowe pomiary wykazały [6], że wartości spadku wysokości podnoszenia pompy dla różnych wirników nie są ściśle takie same. Wahają się one wokół przyjętej, dopuszczalnej wartości spadku wysokości podnoszenia, co jest wynikiem zmieniających się w czasie własności nadawy flotacyjnej.

Szczególnie znacznym zmianom w czasie podlega gęstość mieszaniny ρ . Jak ilustruje rys. 4, zmiana gęstości mieszaniny w przedziale od ρ_w do ρ_{m3} powoduje wystąpienie w obszarze $Q-H$ pewnego pola pracy. Praca pompy ma więc charakter nieustalony. Gdy zmiana gęstości następuje stopniowo i to w stosunkowo długim okresie czasu, wówczas zmiany parametrów Q i H obrazuje graficznie linia AC . Jest ona miejscem geometrycznym punktów, które odpowiadają warunkom pracy pompy przy jednakowej gęstości mieszaniny w pompie i rurociągu. Linia AC dzieli obszar $ABCD$ na dwa pola:

– pole ABC , odnoszące się do przypadków, gdy gęstość mieszaniny przetłaczanej w danej chwili przez pompę jest większa od gęstości mieszaniny przepływającej w rurociągu,

– pole ACD , odpowiadające warunkom, gdy gęstość mieszaniny w pompie jest mniejsza od gęstości mieszaniny w rurociągu.



Rys. 4. Obszar pracy pompy przy zmiennej gęstości pompowanej mieszaniny (wg [12])

Przedstawiony powyżej mechanizm zjawisk występuje również w przeprowadzonych doświadczeniach, co potwierdza celowość wyodrębnienia dwu głównych faz pracy pompy:

- przy przetłaczaniu nadawy flotacyjnej, w czasie której zachodzi zużycie elementów zespołu przepływowego,
- przy przetłaczaniu wody czystej, w trakcie której wyznaczone zostają charakterystyki energetyczne w chwili $t=0$ i $t=T_w$.

Praktycznie nieosiągalne w warunkach badań eksploatacyjnych utrzymanie stałych własności mieszaniny, pociąga za sobą konieczność ścisłej rejestracji czynników wywierających dominujący wpływ na przebieg eksperymentów. Do czynników w sposób dostateczny charakteryzujących mieszaninę należą:

- gęstość,
- skład ziarnowy,
- skład petrograficzny,
- zawartość SiO_2 ,
- wskaźnik pH.

Gęstość nadawy flotacyjnej mierzona jest w czasie pracy pompy w układzie rzapie – hydrocyklon trzema sposobami:

- tradycyjną metodą wagową (sposób pobierania próbek opisany został poniżej),
- gęstościomierzem pneumatycznym (projektu IMN Gliwice),
- gęstościomierzem izotopowym (typu ZPU-1320).

Skład ziarnowy nadawy flotacyjnej przyjmowany jest na podstawie średnich wartości udziałów poszczególnych klas ziarnowych występujących w okresie czasu T_w . W tym celu pobierane są co godzinę próbki o objętości $0,5 \text{ dcm}^3$. Objętość ośmiu kolejnych próbek stanowi bazę do wyznaczenia reprezentatywnej ilości nadawy, która następnie poddana zostaje analizie sitowej. Analiza ta przeprowadzana jest na komplecie sit o rozmiarach oczek $0,035, 0,075, 0,102, 0,2, 0,3 \text{ mm}$. Po wysuszeniu „produktu” sitowego określa się w procentach wagowy udział każdej klasy ziarnowej w stosunku do całkowitego ciężaru wszystkich klas.

Skład petrograficzny mieszaniny, zmienny dla rud z poszczególnych rejonów szybowych kopalń, wyznaczany jest metodą planimetrowania pod mikroskopem udziałów łupków, wapieni i piaskowców w rozpatrywanej próbce.

Zawartość SiO_2 w nadawie określona jest skróconą metodą strat prażenia. Do analizy chemicznej wykorzystywane są próbki pobierane w celu wyznaczenia gęstości i składu ziarnowego mieszaniny. Otrzymana tą metodą ilość SiO_2 nie jest jednoznaczna z zawartością ziarn wolnego kwarcu, obejmuje bowiem również SiO_2 występujący w formie związanej. Z tego względu metoda ta daje wyniki dokładniejsze dla rud piaskowcowych niż dla rud z przewagą łupków i wapieni.

Pomiar wskaźnika pH odbywa się w sposób ciągły urządzeniem stanowiącym połączenie pH-metru rejestrującego firmy angielskiej PYE oraz przyrządu do automatycznego przemywania elektrod. Wskazania pH-metru sprawdzane są okresowo odczytnikiem buforowym.

3.1.4. Wyznaczenie charakterystyk $H=f(Q)$ pompy modelowej po czasie pracy T_w

Rejestracja czasu pracy wirnika T_w przeprowadzana jest licznikiem typu LG2, którego włączenie następuje każdorazowo z chwilą uruchomienia silnika elektrycznego pompy.

Stan uniemożliwiający dalszą eksploatację pompy modelowej w układzie rzapie – hydrocyklon charakteryzuje się przede wszystkim spadkiem ciśnienia w dyszy wlotowej hydrocyklonu. Spadek ciśnienia powoduje pogorszenie jakości klasyfikacji, co z kolei zakłóca proces technologiczny układu. Po sprawdzeniu instalacji badawczej i upewnieniu się, że

przyczyną spadku ciśnienia jest zużycie elementów zespołu przepływowego pompy, przeprowadzony zostaje pomiar charakterystyki $H=f(Q)$ w obiegu zamkniętym wody czystej. Pomiar ten poprzedzony jest kilkakrotnym przetłoczeniem wody czystej w układzie zbiornik wody czystej – rzapie.

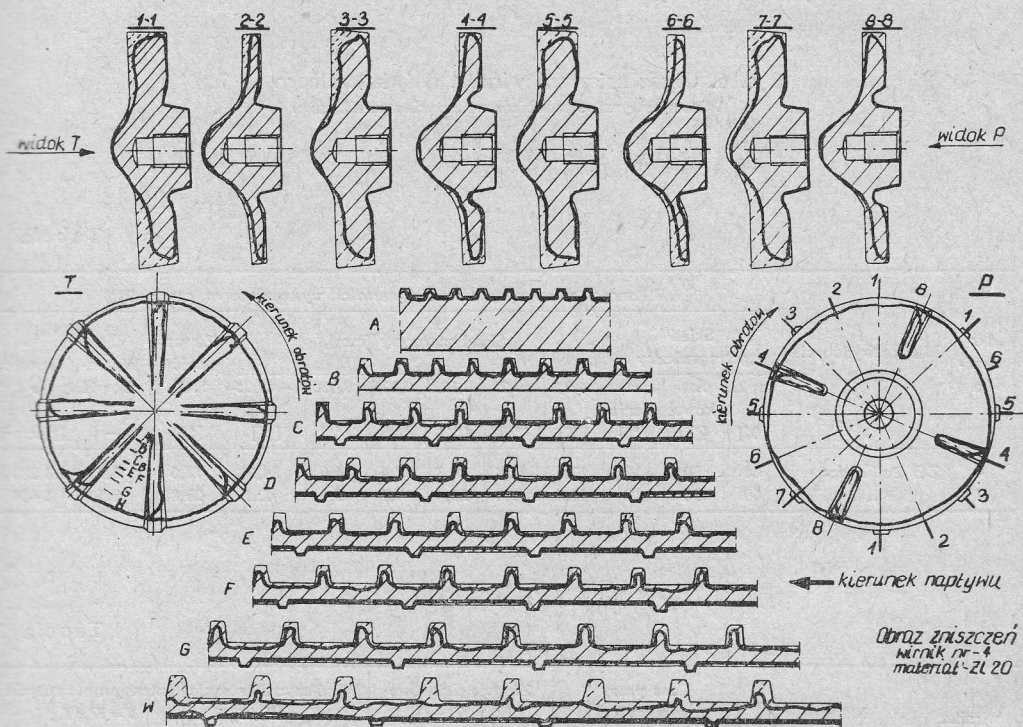
3.1.5. Określenie wybranych czynników stereometrycznych wirnika zużytego

Przeprowadzone w tej części badań pomiary kształtów i ciężarów wirników zużytych stanowią podstawę do sporządzania obrazów zniszczeń oraz wyznaczania wskaźników zużycia. Na rys. 5 i 6 przedstawiono przykładowo obrazy zniszczeń dwóch wirników, wykonanych z żeliwa Zl 20 i mosiądzu Mo 59. Czynniki eksploatacyjne rejestrowane w czasie badań tych wirników na stanowisku doświadczalnym oraz wskaźniki zużycia każdego z nich podano przykładowo w tabelach 1 i 2.

Pomiary kształtu wirnika zużytego przeprowadza się:

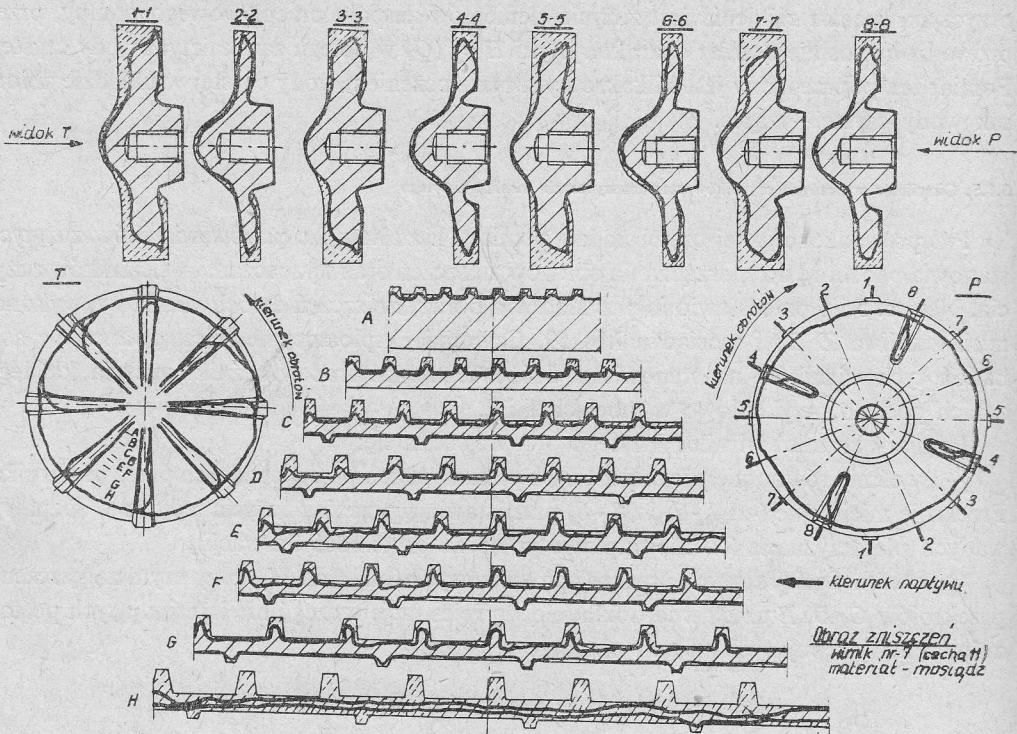
– w ośmiu równomiernie rozłożonych płaszczyznach przechodzących przez oś wirnika. Przekroje miejscowe (od 1-1 do 8-8) przedstawiają przebieg zużycia jedynie w rozpatrywanych płaszczyznach (co niewątpliwie polepsza czytelność ilustracji),

– w ośmiu miejscowych przekrojach walcowych (od A do H), przy czym zagęszczenie przekrojów C, D, E umożliwia dokładniejszą rejestrację szczególnie interesujących postaci zniszczeń występujących w tym obszarze wirnika.



Rys. 5. Obraz zniszczeń wirnika doświadczalnego nr 4

Widoczne dwie postaci zużycia erozyjno-ściernego; ogólna (przekroje od A do F) oraz miejscowa (we fragmentach przekrojów G i H)



Rys. 6. Obraz zniszczeń wirlnika doświadczalnego nr 7
Widoczne wyraźne podobieństwo zużycia z wirlnikiem nr 4

Tabela 1

Nr wirlnika	Miejsce wydobywania rudy	Własności mieszaniny (średnie wartości występujące w czasie T_w)												
		Skład petrograficzny			Skład ziarnowy [mm]							Zawartość SiO_2 [%]	Wskaźnik pH	Gęstość ρ [g/dcm ³]
		łupki	piaskowce	wapienie	+0,3	0,2	0,102	0,075	0,035	-0,035				
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]			
4	ZG Polkowice	60	30	10	12,3	12,8	28,3	7,4	4,6	34,6	18,6	8,7	1 280	
7	„	60	30	10	11,8	9,6	23,4	7,7	5,4	42,1	20,8	8,5	1 404	

Tabela 2

Nr wirlnika	Materiał	Czas pracy wirlnika T_w [godz]	Zużycie ciężarowe $W_g = G_n - G_z$ [kG]	Współczynnik zużycia $E_g = W_g / G_n$ [%]	Intensywność zużycia $J = W_g / T_w$ [G/godz]
4	Zl 20	370	1,231	35,2	3,32
7	Mo 59	78	1,228	30,9	15,70

Ubytek materiału wirnika będący różnicą jego ciężaru początkowego G_n i końcowego G_z (odpowiednio w chwili $t=0$ i $t=T_w$), stanowi zużycie ciężarowe wirnika W_g . Wartość W_g odniesiona do czasu pracy wirnika T_w określa intensywność zużycia ciężarowego J_g . Wartość W_g odniesiona do ciężaru początkowego wirnika G_n wyznacza współczynnik zużycia ciężarowego E_g .

4. Wnioski

Wyniki zrealizowanej dotychczas części zaplanowanych prac badawczych nasuwają następujące spostrzeżenia (które w obecnej fazie badań nie mogą mieć formy stwierdzeń ostatecznych)

a. Wirniki doświadczalne charakteryzujące się:

- tą samą konstrukcją,
 - wykonaniem z różnych materiałów,
 - zbliżonymi warunkami badań,
 - bliskimi co do wartości współczynnikami zużycia W_g/G_n wynikającymi z przyjętego jednakowego kryterium wyłączania pompy z ruchu,
- podlegają podobnym procesom zużywania, na co wskazują praktycznie ich jednakowe makroskopowe obrazy zniszczeń.

Wy tłumaczenie podobieństwa obrazów zniszczeń wirników oprócz można na wynikach badań przepływu w zespołach hydraulicznych pomp do hydrotransportu [12]. Wykazano tam, że tory cząstek stałych dla małej ziarnistości zależą od ich rozmiarów, tzn. pokrywają się z trajektoriami cząstek cieczy, natomiast ze wzrostem ziarnistości ta analogia zanika. Ponadto, zgodnie z rys. 4, w przypadku przetłaczania przez pompę mieszanin o zmiennej w czasie gęstości, w polu $Q - H$ występuje zamiast punktu obszar pracy, co wiąże się ze zmiennością przebiegów linii prądu. Związany ściśle z ukierunkowaniem tych linii kąt padania cząstek stałych na powierzchnie elementów zespołu przepływowego jest więc zmienny w czasie. Dla poszczególnych materiałów, przy różnych wartościach tego kąta, występuje maksymalna intensywność zużycia. W zjawiskach przepływu mieszaniny przez zespół hydrauliczny pompy, zmienność przebiegu linii prądu pociąga za sobą również zmienność wartości kąta padania, co powoduje z kolei zmniejszenie jego roli jako czynnika istotnie wpływającego na mechanizm zużycia. Daje to w efekcie dla różnych materiałów jednakowe, makroskopowe obrazy zniszczeń wirników.

b. Kształty, rozmieszczenie oraz ukierunkowanie deformacji powierzchni potwierdzają dominującą rolę erozyjno-ściernego oddziaływania przetłaczanej mieszaniny w zachodzących procesach niszczeń. W wyniku tych procesów po stronie czynnej łopatek wirnika występuje korzystne żłobienie jego tarczy nośnej (żłobienie to ma charakter zużycia miejscowego). Powoduje ono uwypuklenie łopatek, co wpływa na zwiększenie czasu pracy wirnika z wymaganymi parametrami energetycznymi.

5. Program i zakres kompleksowych badań modelowych

Plan kompleksowych badań modelowych zawiera trzy grupy zagadnień dotyczących odpowiednio wpływu wybranych czynników: materiałowych, konstrukcyjnych, eksploatacyjnych, na trwałość i przebieg charakterystyk energetycznych pomp do transportu hydraulicznego rozdrobnionych ciał stałych.

Zakres i metodę badań czynników materiałowych przedstawiono powyżej.

Plan badań czynników konstrukcyjnych przewiduje określenie wpływu wybranych wielkości konstrukcyjnych zespołu przepływowego na pracę pompy modelowej. W pierwszej kolejności badaniom poddane zostaną wirniki doświadczalne o różnej konstrukcji (zaprojektowane według własnej metody – zgłoszenie patentowe nr 154958/72 UP PRL). Wirniki te zamierza się wykonać z tego samego, szybkościeralnego materiału, przy czym jest to uzależnione od wyników prowadzonych obecnie badań czynników materiałowych. W ramach tej części pracy, przewiduje się badania pompy modelowej z poszczególnymi wariantami wirników na dwóch stanowiskach doświadczalnych:

- do badań z użyciem wody czystej,
- z zastosowaniem mieszaniny ścierniej o określonych własnościach.

Na stanowisku pierwszym wyznaczone zostaną, dla każdego wirnika, przebiegi podstawowych charakterystyk energetycznych pompy. Stanowisko drugie umożliwi uzyskanie efektu zużycia oraz rejestrację czasu pracy. Badania zmierzają więc do określenia zależności pomiędzy cechami konstrukcyjnymi wirników (w dalszych etapach również cechami konstrukcyjnymi zespołów przepływowych) a uzyskiwanymi przez pompę parametrami energetycznymi oraz trwałością.

Badania czynników eksploatacyjnych dotyczyć będą głównie wpływu własności mieszaniny na pracę pompy modelowej. Erozjno-ściernie oddziaływanie mieszaniny zależy przede wszystkim od:

- koncentracji ciał stałych (ściśle powiązanej z gęstością mieszaniny ρ , definicja koncentracji [10]),
- składu ziarnowego ciał stałych,
- składu petrograficznego.

Wpływ każdego z czynników na przebieg charakterystyk energetycznych pompy i trwałości jej zespołu przepływowego badany będzie w warunkach ustalenia pozostałych wielkości charakteryzujących mieszaninę. Do tych doświadczeń przewiduje się zastosowanie zespołu przepływowego tej samej konstrukcji, a jego elementy składowe wykonane zostaną z materiału szybkościeralnego.

Literatura

- [1] E. Bąk, *Materiały konstrukcyjne oraz wyniki badań zużycia pomp do transportu ciał stałych*. Biuletyn Głównego Instytutu Górniczego nr 12, Katowice 1966.
- [2] W. W. Fomin, *Gidroerozija metallow*. Maszynostrojenije, Moskwa 1966.
- [3] W. Karielin, *Iznos łopastnych gidrawliczeskich maszin ot kawitacii i nanosow*. Maszynostrojenije, Moskwa 1970.
- [4] J. Koterski, A. Peter, P. Zaworski, *Badania trwałości zespołów przepływowych pompy modelowej*. Komunikaty IKEM Politechniki Wrocławskiej nr 5, 1973.
- [5] J. Koterski, P. Zaworski, *Modernizacja pomp wirowych DE-150, 80 Z2K*. Komunikaty IKEM Politechniki Wrocławskiej nr 6, 1973.
- [6] J. Koterski, A. Peter, *Badania wpływu własności materiałów i warunków eksploatacyjnych na zużycie wirników pompy modelowej przy przetłaczaniu produktów wzbogacania rud miedzi*. Raport IKEM Politechniki Wrocławskiej, 1973.
- [7] S. P. Kozyriew, *Gidrobrazivnyj iznos metallow pri kawitacii*. Maszynostrojenije, Moskwa 1971.

- [8] Z. Lisowski, *Zużycie (systematyka pojęć, aktualny stan badań)*. Zagadnienia tarcia, zużycia i smarowania z.6 PWN, Warszawa 1970.
- [9] S. Łazarkiewicz, A. Troškolański, *Pompy wirowe*. WNT, Warszawa 1968.
- [10] S. Łazarkiewicz, A. Troškolański, *Nowoczesne kierunki w konstrukcji pomp wirowych*. WNT, Warszawa 1968.
- [11] W. Sakwa, *Badanie nad doborem tworzyw do wytwarzania pomp wirnikowych transportujących ciecze zanieczyszczone*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Odlewnictwo nr 23, 1960.
- [12] N. Silin, G. Kobiernik, *Rieżimy raboty krupnych ziemlesosnych snariadow i turboprowodow*. AN USSR, Kijów 1962.
- [13] B. K. Suprun, *Abraziwnyj iznos gruntowych nasosow i borba s nim*. Maszynostrojenije, Moskwa 1972.
- [14] M. M. Tienenbaum, *Iznosostojkost konstrukcionnych materialow i dietaliej maszin*. Maszynostrojenije, Moskwa 1966.
- [15] Ł. A. Urwancow, *Erozija i zaszczieta mietalłow*. Maszynostrojenije, Moskwa 1966.
- [16] M. Zarzycki, *Ścieralność erozyjna wirników pomp wirowych w zależności od stosowanego materiału*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka nr 7, 1961.
- [17] P. Zaworski, J. Koterski, P. Maćków, *Zagadnienia zużycia erozyjno-ściernego pomp wirowych stosowanych w zakładach przeróbki mechanicznej rud miedzi*. Prace Naukowe IMUHAP Politechniki Wrocławskiej, z. 6, 1970.

Model Testing of Flow Units in Impeller Pumps Handling Suspensions of Solids of Strong Abrasive Properties

Summary

A method of testing the influence of material characteristics on the distribution and form of experimental impeller wear in a model pump is presented.

In the structural diagram for the types of the material surface wear (Fig. 1) such process types were selected which occur with favourable phenomena in the flow units of pumps handling suspensions of solids of strong abrasive properties.

It was demonstrated that the erosive-abrasive action of the suspension was decisive for the occurring wear processes. The resulting wear phenomena were divided into the surface and local ones (Figs 5 and 6).

A diagram of the experimental stand was included (Fig. 2). The positioning of the stand provides a continuous supply of fresh suspension and the measuring system makes a periodical pump operation possible when delivering both the mixture (to obtain the wear effect) and fresh water (to determine the changes in the characteristics). The range and method of measuring the changes in suspension properties vs. time were given.

Since the investigations under discussion have not been completed yet, conclusions were drawn on the basis of the distinctly occurring regularities; they were therefore not presented as the definite statements. The range and the further program of complex model testing are presented in conclusion.

Модельные исследования проточных узлов лопастных насосов для гидротранспорта тел с сильно абразивными свойствами

Резюме

В работе представлен метод исследований влияния рода и качества материала на распределение и характер износа рабочих колес модельных насосов на исследовательском стенде.

В структурной схеме типов поверхностного изнашивания материалов (рис. 1) были рассмотрены такие процессы, которые сопровождаются явлениями, происходящими в проточной части насосов,

предназначенных для гидравлического транспорта твердых тел, характеризующихся абразивными свойствами. Доказано, что на упомянутые процессы износа влияет преимущественно эрозионно-абразивное действие смеси. В результатах действия рабочей смеси следует различать общий (поверхностный) износ и местный износ (рис. 5 и 6).

Дается схема испытательного стенда (рис. 2). Он расположен в технологической последовательности переработки руды. Измерительная система позволяет на периодически переменную работу насоса в режиме перекачки смеси (получение эффекта износа) или чистой воды (определение изменений характеристик). Представлен объем и метод измерения свойств смеси по времени.

Поскольку выводы сделаны на основании небольшого количества рабочих колес, нельзя считать их окончательными. В заключении изложен планируемый объем дальнейших исследований на модели насоса.