Wacław Sakwa

BADANIE NAD DOBOREM TWORZYW DO WYTWARZANIA POMP WIRNIKOWYCH, TRANSPORTUJĄCYCH CIECZE ZANIECZYSZCZONE

STRESZCZENIE

Dobór tworzywa na pompy uzależniany jest przede wszystkim od rodzaju trnasportowanej cieczy. Przeprowadzone badania na specjalnym aparacie wykazały, że najlepszym stopem do wyrobu pomp wirowych transportujących odpady flotacyjne są żeliwa i staliwa chromowe. Odporność ich w stosunku do odporności staliwa O35L, dotychczas stosowanego w produkcji, jest dwa do trzech razy większa. Ze względów ekonomicznych i technologicznych najracjonalniejszym do tych celów jest zastosowanie żeliwa średniochromowego (~4% Cr).

1. Wstęp

Dobór materiałów do wyrobu pomp pracujących w trudnych warunkach jest zagadnieniem, ze względu na często bardzo krótką żywotność tych maszyn, bardzo ważnym dla przemysłu. Pomijam tu całkowicie zagadnienia prawidłowej konstrukcji, właściwego doboru parametrów pracy, poprawnego montażu i dobrej obsługi pompy. Problematyka ta bowiem należy do konstruktorów a odlewnika-wykonawcę nie wiele już interesuje.

Niszczące działanie ośrodka przepływającego przez pompę wirnikową może mieć różny charakter. Najogólniej działanie to można podzielić na trzy grupy. Są to: kawitacja, korozja, erozja.

Znaczenie praktyczne tych zjawisk dla żywotności pomp jest zależne w pierwszym rzędzie od rodzaju przetłaczanej cieczy (ciecze gorące, zamulane, agresywne pod względem chemicznym, lepkie czy ścierające) oraz warunków pracy samej maszyny.

Kawitacja (cavus = próżny, pusty, wydrążony) polega na tworzeniu się w obszarze ciekłym przestrzeni wypełnionych parą tej cieczy [1].

Zjawisko to zaobserwowano po raz pierwszy pod koniec ubiegłego stulecia, ale pomimo licznych i różnorodnych badań w laboratoriach wodnych do dnia dzisiejszego nie wyjaśniono jeszcze przyczyn niszczenia materiału pompy na skutek kawitacji. Stwierdzono tylko wpływ różnych czynników na wielkość kawitacji oraz określono odporność (względną)

stopów metalowych na niszczące działanie kawitacji, czego ilustracją może być wycinkowy wykres przedstawiony na rys. 1.

W pompach wirowych zjawisko kawitacji powstaje w jej wnętrzu w dowolnym punkcie wirnika, w którym ciśnienie cieczy spadnie poniżej ciśnienia pary nasyconej przy danej temperaturze. Wówczas powstają bardzo drobne pęcherze pary tej cieczy oraz rozpuszczonych w niej gazów. Pęcherzyki te porywane są przez przepływającą ciecz do miejsc o wyższym ciśnieniu, gdzie para ponownie się skrapla. Skraplanie to odbywa się dość gwałtownie (czas skraplania $t \leqslant 0{,}003$ sek) przy równoczesnym bardzo dużym wzroście ciśnienia, które działa jak uderzenie wodne. Uderzenia te następują szybko po sobie przy czym pęcherzyki pary pękają zarówno w najbliższym sąsiedztwie aktywnej powierzchni, jak i w jej wgłębieniach (porach, pęknięciach, rysach itp.), powodując niszczące działanie właśnie w miejscach najsłabszych. Bombardowanie powierzchni odlewu przez pękające pęcherzyki pary powoduje drgania, które mogą przybierać duże rozmiary i przenosić się aż na fundamenty.

Ogólnie biorąc kawitacji sprzyjają następujące okoliczności:

1. Przekroczenie nominalnej wydajności pompy.
2. Gwałtowne zmiany kierunku przepływu cieczy.
3. Zbyt niskie ciśnienie w stosunku do ciśnienia parowania cieczy przy danej temperaturze.
4. Wady konstrukcyjne.
5. Nierówna powierzchnia (pęcherze, pęknięcia, wżarcia itp.) wirnika.

Pomiar kawitacji można przeprowadzić różnymi sposobami (np. w specjalnych dyszach). Na podstawie wyników tych pomiarów można ogólnie powiedzieć, że zniszczenie kawitacyjne materiałów spada wraz ze wzrostem jego wytrzymałości na rozciąganie. Wyjątek stanowią tu staliwa austenityczne, które mimo stosunkowo niskiej wytrzymałości wykazują dobrą odporność na kawitację.

Korozja metali wywołana jest procesami chemicznymi i elektro-chemicznymi. Działanie korozyjne przetłaczanej cieczy na części metalowe pompy zależy od normalnych czynników wpływających na przebieg reakcji chemicznych, a mianowicie: temperatury, ciśnienia i koncentracji. Korozja może być również wynikiem innych czynników, jak np. niejednorodności chemicznej lub strukturalnej stopu, niewłaściwej naprawy wad odlewniczych itp. Korozja jest zjawiskiem powszechnie znanym, a metody jej pomiaru są ujęte u nas w normy państwowe, dlatego dokładniejszy opis tych zjawisk jest w tym miejscu zbędny.

Erozja części metalowych pomp polega na ścieraniu powierzchni ścian metalowych przez ciała stałe i ciecze przepływające przez te pompy. Erozja pomp, głównie wirnika, jest wynikiem różnorodnego działania przepompowywanego ośrodka. Działanie erozyjne różnych ośrodków można ująć w następujące punkty:

1. uderzenie kroplowe,
2. erozja piaskowa
   a) ścieranie posuwiste,
   b) ścieranie strumieniowe,
   c) ścieranie opłukujące.

Uderzenia poszczególnych kropel, szczególnie w części wirującej pompy, działają niszcząco w sposób mechaniczny, wywołując na materiale

miejscowe dość duże naprężenia zmienne. Uderzające krople cieczy powodują w wirniku podobne naprężenia i zniszczenia, jak to ma miejsce przy kawitacji.

Celem określenia erozyjnego wpływu uderzenia kroplowego na poszczególne rodzaje materiałów, z których wykonuje się wirniki, przeprowadzane są badania na próbkach mocowanych na obwodzie wirującej tarczy, na którą puszcza się strumień wody.

Ta metoda badań ze względu na swą prostotę jest najczęściej stosowanym sprawdzianem przydatności materiału do wyrobu pomp, tym więcej, że jak wykazały doświadczenia może być ona również miernikiem odporności na działanie niszczące kawitacji. Materiały bowiem odporne na działanie erozyjne uderzeń kroplowych są również odporne na działanie kawitacji, stąd podana próba spełnia w praktyce podwójne działanie i dlatego jest ona chętnie stosowana.

Niszczące działanie erozyjne na pompy wywiera sam przepływ transportowanej cieczy. Zagadnienie erozji znacznie się jeszcze komplikuje w wypadkach, gdy ciecz transportowana jest zanieczyszczona częściami stałymi np. piaskiem. Badanie erozji pomp, w chwili obecnej jest, można powiedzieć, w początkowym stadium doświadczeń. Do niedawna jeszcze jedyną prawie metodą określania przydatności materiału do wyrobu pomp było przeprowadzenie, często bardzo długotrwałych, a zawsze kosztownych prób na właściwej pompie przy użyciu cieczy dla której maszyna została skonstruowana. Ostatnio przeprowadzane próby w ZSRR, USA, NRF i Szwajcarii umożliwiają z dużym przybliżeniem ocenę jakości tworzywa na podstawie specjalnie opracowanych prób technologicznych. Rodzaj stosowanych prób zależy od charakteru pracy pompy, a więc i działania erozyjnego cieczy i części stałych (piasku) w niej zawartych. Rozróżniamy ogólnie w erozji piaskowej ścieranie posuwiste, strumieniowe i opłukujące. Zależnie od charakteru pracy urządzenia przeważa któraś z tych odmian erozji. Próba technologiczna określająca przydatność materiału do konstrukcji musi być więc również odpowiednio dobrana. Istnieje kilka różnych prób technologicznych na określenie erozji pomp. Najlepsze stosunkowo wyniki uzyskano na aparacie Stauffer'a, który z dużym przybliżeniem odtwarza warunki pracy materiałów w pompie wirnikowej. Warto nadmienić, że poszczególne czynniki jak kawitacja, erozja uderzeniowa, opłukująca itd. oddziaływują wzajemnie na siebie. Pomiar więc każdego z tych czynników z osobna nie daje po zsumowaniu wyników obrazu zgodnego z rzeczywistością.

2. Materiały do wyrobu pomp

Do wyrobu pomp stosowane są prawie że wyłącznie odlewy. Tworzywo ze względu na duże wymagania musi charakteryzować się dużą wytrzymałością, odpornością na erozję oraz czasem dobrą odpornością na korozję. Z tych względów najczęściej używanym do wyrobu pomp materiałem są odlewy staliwne o wytrzymałości na rozciąganie powyżej 50 kG/mm^2. Mogą to być zarówno staliwa węglowe jak również nisko i wysoko-stopowe. Szczególnie chętnie stosowane są staliwa wysoko-chro-

mowe (Cr ≈ 13 %) lub chromowo-molibdenowe z ewentualnym dodatkiem niklu lub wanadu. Najczęściej stosowane składy chemiczne staliw używanych do wyrobu pomp i urządzeń wodnoparowych podaje tablica 1.

Jak wykazują doświadczenia zagraniczne odporność materiałów na ścieranie jest zupełnie nieproporcjonalna do ich twardości, czy wytrzymałości, a więc do właściwości, które przywykliśmy uważać prawie zawsze za miernik w pewnym sensie ścieralności. Stwierdzono np., że materiałem kilkakrotnie więcej odpornym od stali na ścieranie posuwiste piasku jest guma. Przy ścieraniu natomiast strumieniowym bazalt okazał się kilkanaście razy więcej odporny na działanie szkła mielonego, kwarcu, korundu, węglika krzemu od stali węgliwej, stopowej czy żeliwa utwardzonego.

3. Badania własne

Celem określenia odporności pomp na działanie szlamów flotacyjnych z zakładu „Orzeł Biały" zbudowano aparat (rys. 2), który w swej konstrukcji zbliżony jest do aparatu Stauffer'a. Aparat ten daje warunki pracy zbliżone do warunków panujących w pompach Wilfley'a, zainstalowanych w wspomnianym zakładzie. W pompach tych mamy w pierwszym rzędzie do czynienia ze ścieraniem opłukującym.

Transportowana ciecz (odpady flotacyjne) jest słabo zasadowa o pH = = 9,2. Zawiera ona znaczne ilości części stałych o ziarnistości 0,2—0,3 mm. Jej wpływ erozyjny na wirnik pompy badano na przedstawionym schematycznie aparacie mocując na tarczy próbki (rys. 3) badanych materiałów. Szybkość obwodowa trzpieni przymocowanych do tarczy wynosiła 7,5 m/sek, co odpowiada szybkości przepływu cieczy w wirniku pompy.

Wszystkie badane próbki były obrabiane mechanicznie (toczone i szlifowane). Na tarczy były mocowane do każdego pomiaru po trzy próbki badanego tworzywa oraz jedna próbka wzorcowa. Do badań jako próbki wzorcowej użyto stali M 50, co gwarantowało więcej jednorodne wyniki. Uzyskane rezultaty przeliczone zostały następnie w stosunku do staliwa O35L tzn. materiału, z którego dotychczas wykonuje się pompy wirnikowe.

Badane stopy wytapiano:

— w żeliwiaku — żeliwo szare, białe i żeliwo przeznaczone do produkcji żeliwa sferoidalnego,
— w piecu łukowym — żeliwo średnie i wysoko-chromowe, staliwo O35L i staliwo Hadfielda,
— w piecu indukcyjnym — staliwa manganowe i manganowo-krzemowo-chromowe.

Wszystkie próbki odlewano do form wilgotnych za wyjątkiem próbek żeliwa białego odlewanych do kokil oraz żeliwa szarego i sferoidalnego, które odlewano do form suszonych.

Składy chemiczne badanych stopów podaje tablica 2.

Miernikiem odporności materiałów na ścieranie w przeprowadzanych badaniach jest stosunek k ubytków ciężarowych próbek badanych b do takiegoż ubytku próbki wzorcowej a:

$$K = \frac{b}{a}$$

Tablica 1

Najczęściej stosowane staliwa stopowe do wyrobu pomp wirnikowych

Tworzywo	Skład chemiczny w %									
	C	Si	Mn	P max	S max	Mi	Cr	Mo	V	Cu
Staliwa węglowe	0,25—0,35	0,3—0,5	0,5—0,8	0,004	0,004	—	—	—	—	—
„ niskostopowe	0,20—0,35	0,3—0,5	0,5—1,0	0,003	0,003	1,5— 3,5	1,0— 3,5	0,2—0,5	do 0,15	—
„ wysokostopowe	0,06—0,18	do 0,35	0,3—0,8	0,004	0,004	1,0— 2,0	12,0—14,0	0,0—0,7	—	—
„ „ (Cr—Ni)	do 0,06	0,3—0,8	0,3—0,8	0,004	0,004	7,0—14,0	16,0—22,0	0,5—2,0	—	0,5—1,5

Tablica 2

Skład chemiczny stopów użytych do badań ścieralności opłukującej w aparacie typu „Stauffera"

Rodzaj stopu	Oznaczenie stopu symbol	Skład chnmiczny w %					
		C	Si	Mn	P	S	Cr
Żeliwo szare Zl. 22	1	3,18	1,96	0,76	0,29	0,11	—
„ białe	2	3,18	1,96	0,76	0,29	0,11	—
„ sferoidalne Zs P 55	3	3,35	3,30	0,51	0,27	0,03	0,02 Mg
„ wysoko-chrom.	4	0,90	2,00	1,20	0,10	0,07	28,4
„ średnio „	5	3,20	3,40	0,50	0,21	0,10	3,9
„ średnio-manganowe	6	0,41	0,35	3,80	0,02	0,03	—
„ Hadfielda	7	1,16	0,68	12,40	0,08	0,03	—
„ Mn — Si — Cr	8	0,42	1,07	1,50	0,03	0,03	0,9
„ wysoko-chrom.	9	0,37	0,50	0,54	0,03	0,03	14,5
Staliwo 035 L	0	0,38	0,36	0,60	0,03	0,03	—

Badanie odporności różnych materiałów na ścieranie opłukujące przeprowadzono w dwóch seriach. W pierwszej serii, której wyniki podaje niniejsza publikacja w zbiorniku aparatu pomiarowego przez cały okres czasu trwania (8 godzin) próby nie zmieniano cieczy, co miało naturalnie wpływ na aktywność erozyjnego oddziaływania ośrodka na próbki.

Części stałe w odpadach flotacyjnych ulegały rozdrobnieniu, co zmniejszało ich niszczące działanie. Ilustracją zmiany tej aktywności może być wykres podany na rys. 4 z którego wynika, że pewna zawartość części stałych w cieczy znacznie podwyższa niszczące jej działanie opłukujące oraz, że działanie niszczące takiej cieczy jest tym większe im ziarnistość części stałych jest większa (ewentualnie są również więcej ostre krawędzie ziaren).

Wyniki pierwszej serii prób ilustruje tablica 3. Na wielkość wskaźnika ścieralności, jak wynika z tego zestawienia, wpływa nie tylko sam rodzaj stopu (skład chemiczny), lecz również jego struktura, a więc obróbka cieplna, którą zaznaczono w tablicy w sposób schematyczny.

Żeliwo szare (Zl 22) posiadało strukturę perlityczną z niewielkimi ilościami ferrytu. Wydzielany grafit miał rozłożenie między-dendrytyczne.

Żeliwo białe miało normalną strukturę ledeburytu przemienionego.

Żeliwo sferoidalne dawało stosunkowo najlepsze wyniki w stanie normalizowanym, przy którym próbki wykazywały strukturę perlityczną z pewną ilością ferrytu rozłożonego wokół sferoidów (rys. 5). Żeliwo sferoidalne o osnowie sorbitycznej lub trostytycznej przy znacznej ilości ferrytu wykazywało gorszą odporność na ścieranie.

Najlepsze własności przeciwcierne wykazały żeliwa wysoko- i średnio-chromowe, których mikrostruktury podają rys. 6 i 7. Dobre właściwości przeciwcierne (odporność na erozję opłukującą) wykazują również:

— staliwo Hadfielda,
— staliwo Mn-Si-Cr,
— staliwo wysoko-chromowe.

Struktury tych stopów podają rys. 8 i 9.

Materiałem odniesienia (oznaczonym nr. 10) było normalizowane staliwo węglowe O35 L, którego mikrostrukturę podaje rys. 10.

4. Wnioski

Przedstawione wyniki doświadczeń są tylko fragmentem (pierwszą częścią) badań nad doborem materiału do wyrobu pomp. Na podstawie tych wyników można stwierdzić, że najlepszym materiałem do wyrobu pomp wirnikowych są żeliwa chromowe. Ze względu na cenę, należy raczej zalecać żeliwa o średniej zawartości tego pierwiastka (4 % Cr), gdyż żeliwa wysokochromowe (Cr = 28 %) tylko w nieznacznym stopniu dają lepsze wyniki w pracy.

Przy omawianiu wyników i wyciąganiu wniosków należy pamiętać o konieczności uzupełnienia badań określających:

1. Odporność materiałów na działanie cieczy zanieczyszczonej przy stałym jej przepływie przez zbiornik.
2. Zależność erozji materiału od czasu.

Tablica 3

Wskaźnik ścieralności różnych materiałów (wg tablicy nr 2) w stosunku do ścieralności staliwa 035 L

Oznacz. materiału	Rodzaj stosow.-obróbki cieplnej	Twardość HB w kG/mm²	Średni wskaźnik ścierania	Struktura
1	—	184	1,00	perlityczna
2	—	467*	0,50	ledeburytyczna
3	a) normaliz. 900 °C	321*	0,65	rys. nr 5
	b) hartow. 860 °C odpuszcz. 350 °C	484*	0,69	trostytyczna
	c) hartow. 860 °C odpuszcz. 500 °C	408*	0,75	sorbityczna
4	—	265*	0,36	rys. nr 6
5	—	448*	0,44	rys. nr 7
6	a) normaliz. 820 °C	258	1,00	sorbityczna
	b) hartow. 820 °C odpuszcz. 600 °C	280	0,85	gruboigl. martenzyt
7	—	192	0,62	rys. nr 8
8	a) normaliz. 870 °C	587*	0,50	rys. nr 9
	b) hartow. 870 °C odpuszcz. 400 °C	497*	0,64	trostyt.-sorbityczna
	c) hartow. 870 °C odpuszcz. 620 °C	400*	0,76	sorbityczna
	d) wyżarzanie w 870 °C	269*	0,84	perlityczna
9	a) hartow. w 970 °C odpuszcz. w 300 °C	480*	0,53	wydz. węglików
	b) hartow. w 970 °C odpuszcz. w 660 °C	271*	0,66	wydz. węglików
	c) wyżarz. zup. w 970 °C	254*	0,73	wydz. węglików
10	normaliz.	156	1,00	rys. 10

Twardość mierzenia na aparacie Brinella przy użyciu kulki ⌀ 2,5 mm i obciążeniu 187,5 kG.

* Twardość mierzona aparatem Rockwella i przeliczana na skalę HB.
Wartość k jest obliczona jako średnia z trzech próbek.

3. Zależność pomiędzy wynikami badań laboratoryjnych o rzeczywistą odpornością pomp.

Badania te są w Katedrze już na ukończeniu. Dadzą one możliwość szybkiego określania przydatności różnych tworzyw do produkcji pomp wirowych.

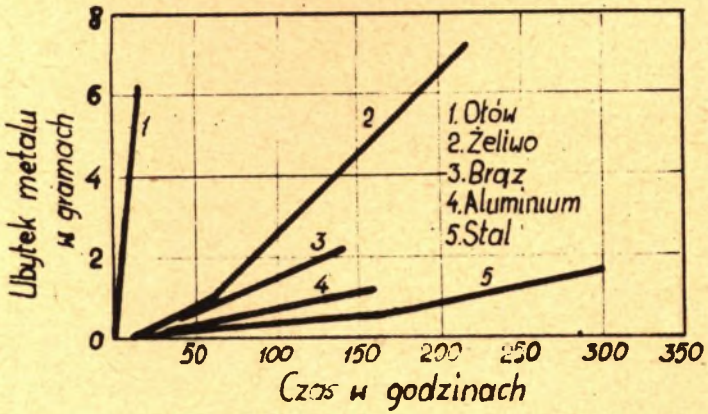
LITERATURA

[1] W. Łazurkiewicz, T. Troskolański: *Pompy wirowe*. PWT. Warszawa 1954.

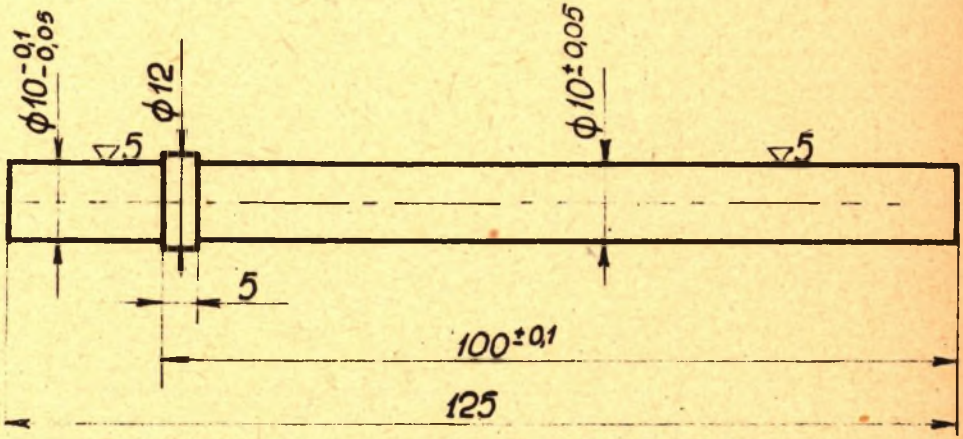
[2] H. Werner, A. Stauffer: *Neuere Entwicklungen auf dem Gebiete des Stahlformgusses*. Giesserei 8, 1955.

[3] K. Wellinger, H. Uetz: *Gleit-, Spül- und Strahlverschleissprüfung*. Schweizer Archiv — Annales Suisses 1/1958.

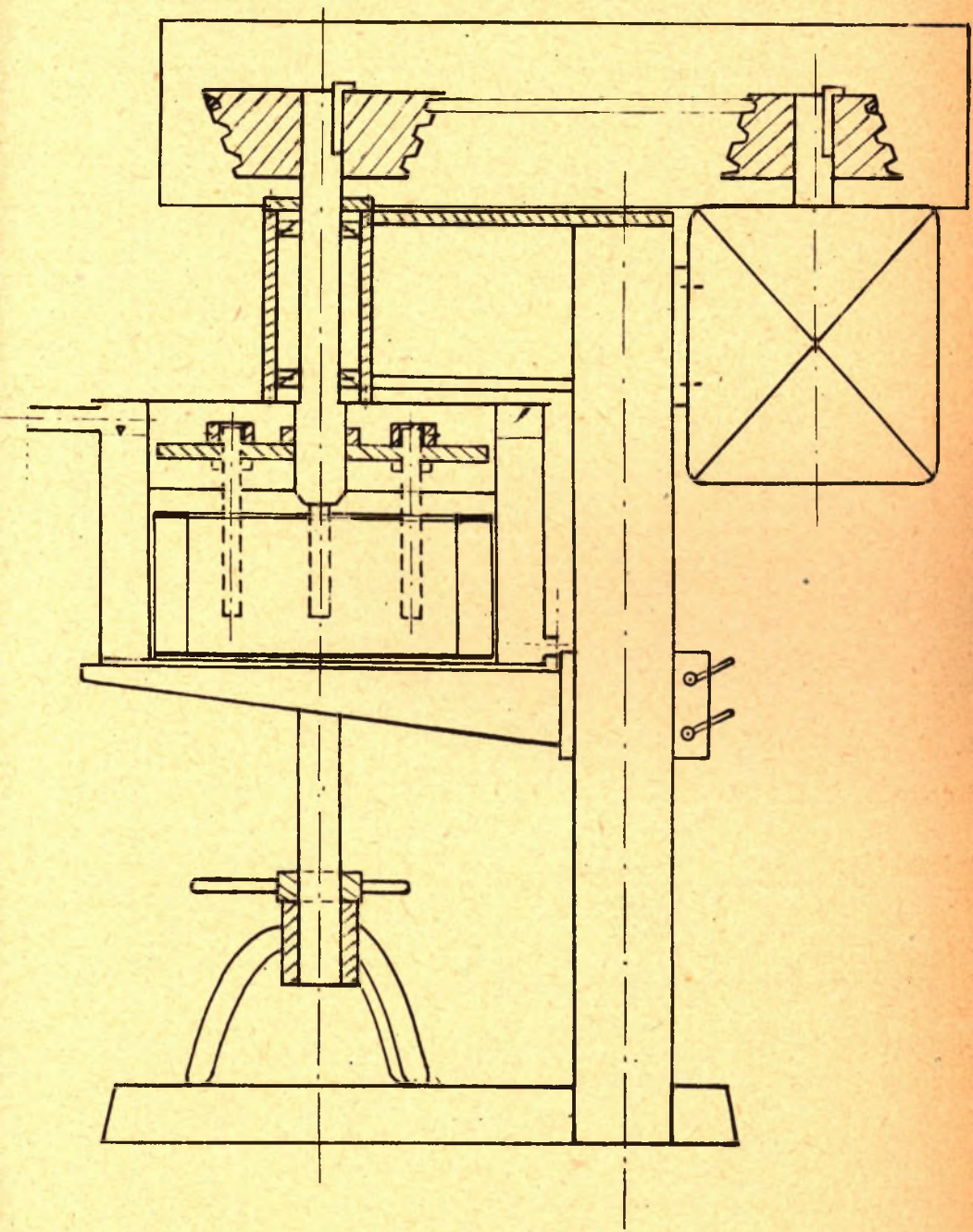
[4] A. Kocot, M. Ziob: *Praca dyplomowa wykonana w Katedrze Odlewnictwa Politechniki Śląskiej*.



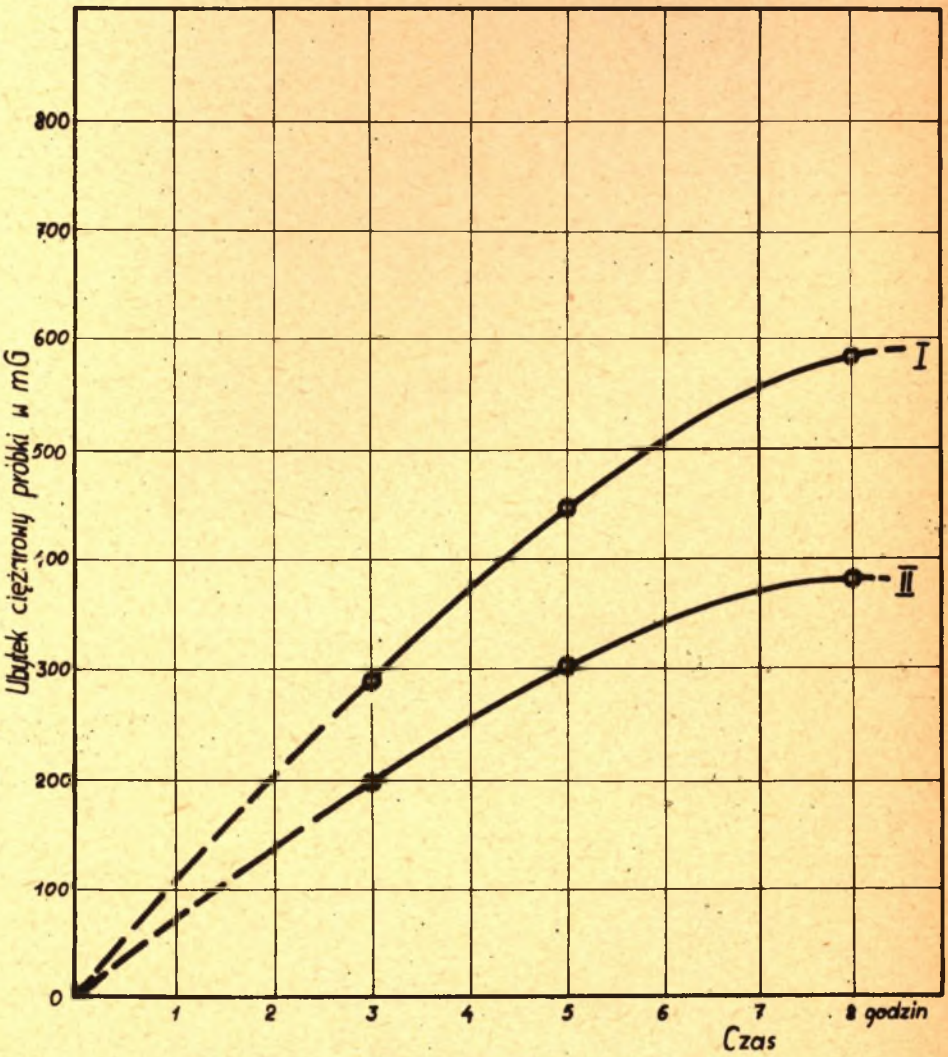
Rys. 1. Ubytek różnych metali wywołany niszczącym działaniem kawitacji (wg doświadczeń H. Schrötera)



Rys. 3. Wymiary próbek (różnych materiałów) badanych w aparacie przedstawionym na rys. 2

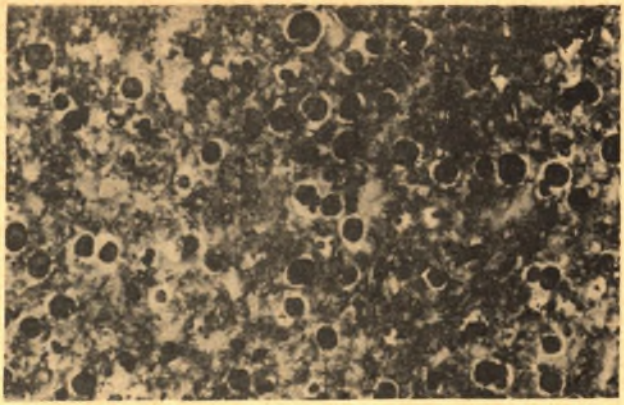


Rys. 2. Schemat aparatu do badania odporności różnych tworzyw na działanie opłukujące cieczy

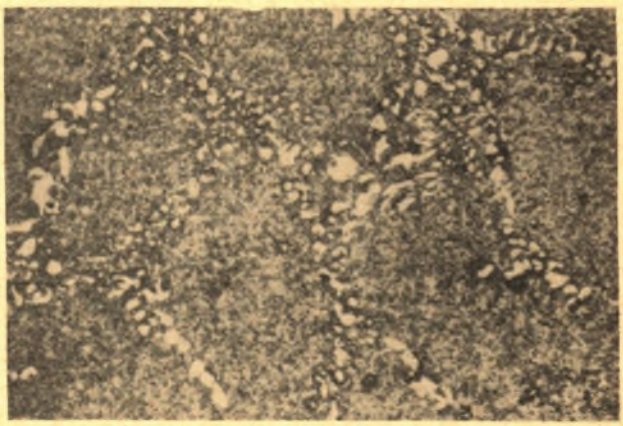


I - krzywa ścierania pierwszej próby.
II - krzywa ścierania przy powtórnym użyciu tej samej mieszaniny ścierającej.

Rys. 4. Wpływ czasu ścierania na odporność tworzywa (stali) oraz „aktywność" cieczy ścierającej



Rys. 5. Mikrostruktura normalizowanego z t 900°C żeliwa sferoidalnego. Pow. × 150; traw. HNO_3



Rys. 6. Mikrostruktura żeliwa wysokochromowego (28 % Cr) — bez obróbki cieplnej. Pow. × 600; traw. — $FeCl_3$

Rys. 7. Mikrostruktura żeliwa średniochromowego (4 % Cr) — bez obróbki cieplnej. Pow. × 600; traw. — HNO_3

Rys. 8. Mikrostruktura staliwa Hadfielda — bez obróbki cieplnej. Pow. X 150; trawa — $FeCl_3$

Rys. 9. Mikrostruktura normalizowanego z t° 870°C staliwa Mn-Si-Cr. Pow. X 600; traw. — HNO_3

Rys. 10. Mikrostruktura normalizowanego z t° 860°C staliwa węglowego (035 L). Pow. X 150; traw. — HNO_3