

*Krystyna Pudełko*

## ZWIĄZEK WYTRZYMAŁOŚCI MASY W PODWYŻSZONYCH TEMPERATURACH Z JEJ WYMYWANIEM PRZEZ METAL

### STRESZCZENIE

Podano krótki przegląd dotychczasowych badań nad własnościami mechanicznymi mas łożowych w podwyższonych temperaturach oraz wpływ tych własności na powstawanie wad odlewniczych. Opracowano nową metody badania wpływu rodzaju spoiwa na intensywność wymywania masy przez ciekły metal. Polega ona na przepływie określonej ilości metalu przez sitko wykonane z badanej masy.

Procentowy przyrost średnicy otworu sitka jest wskaźnikiem, który wyraża odporność masy na wymywające działanie strugi metalu.

W badaniach wzięto pod uwagę masy formierskie naturalne, bentonitowe, dekstrynowe, z olejem W i ze szkłem wodnym. Otrzymane wyniki porównano z wynikami badań własności mechanicznych w wyższych temperaturach.

Ogólnie wykazano, że masy na spoiwach organicznych podlegają najsilniej wymywaniu, najmniej masy kwarcowo-łożowe.

Wymycie masy zależy od jej wytrzymałości w wyższych temperaturach (porównawszy od 700°C).

### Wstęp

Właściwości masy w temperaturach pokojowych są istotne dla procesu formowania. W czasie zalewania formy metalem temperatura masy wzrasta i odtąd interesujące są już tylko właściwości masy w podwyższonych temperaturach. Oznaczanie ich w temperaturze pokojowej ma o tyle znaczenie dla określenia zachowania się masy w podwyższonych temperaturach, o ile znamy związek między właściwościami masy w pokojowych i podwyższonych temperaturach.

Wady odlewnicze z winy masy mają więc bezpośredni związek z właściwościami masy w podwyższonych temperaturach. Do wad tych należą pęknięcia i rysy w odlewach, spowodowane mechanicznym hamowaniem skurczu przez masę, wymywanie masy przez metal i powstające w związku z tym zaprószenia i zapiaszczenia, zniekształcania odlewów, wypchnięcia, guzy, żyłki, przypalenia, wżarcia, strupy.

W związku z tym wylania się zagadnienie badania właściwości masy w podwyższonych temperaturach. Jedną z tego rodzaju właściwości jest wytrzymałość masy w podwyższonych temperaturach. Wytrzymałość masy

zależy przede wszystkim od temperatury wypalania się materiałów wiążących masy, czy zmiany przez nie w wyższych temperaturach zdolności wiążących.

Wytrzymałość masy bezpośrednio w formie w warunkach zalewania nie może być praktycznie oznaczona. Dane porównawcze może dać jednak — przy stałych warunkach badania — oznaczenie wytrzymałości mas w podwyższonych temperaturach metodami laboratoryjnymi.

Przez odniesienie wytrzymałości mas w temperaturach wyższych niż pokojowa, do temperatury warstw nagranych w formie w określonym okresie czasu po zalaniu, można wnosić o wartości wytrzymałości masy w formie i jej zachowaniu.

Wytrzymałość mas w podwyższonych temperaturach określona laboratoryjnie na specjalnych próbkach nie będzie ściśle odpowiadać wytrzymałości tej masy w formie. Zależy ona bowiem także od kształtu i wielkości formy, grubości warstwy masy, od współczynnika akumulacji ciepła.

Przeniesienie wartości wytrzymałości masy otrzymanych na drodze laboratoryjnej na wytrzymałość masy w formie komplikuje się ponadto przez nierównomierne nagrzewanie się formy czy rdzenia, jak również na skutek trudności dokładnego pomiaru temperatury masy zmieniającej się w czasie.

Tematem niniejszej pracy jest oznaczenie wytrzymałości różnych mas w podwyższonych temperaturach oraz związku między tą wytrzymałością a wymywaniem masy przez metal.

### Stan dotychczasowych badań wytrzymałości mas w podwyższonych temperaturach

Na problem zmiany wytrzymałości masy ze wzrostem temperatury odlewnicy zwrócili uwagę dość dawno. Pierwsze tego rodzaju badania przeprowadzono w Stanach Zjednoczonych Ameryki w latach 1935—36, a następnie w okresie drugiej wojny światowej.

Badano [1], [2] zmianę wytrzymałości ze wzrostem temperatury mas o różnej zawartości kaolinitu i bentonitów amerykańskich. Maksymalne wytrzymałości na ściskanie dochodzące w niektórych wypadkach do  $70 \text{ kG/cm}^2$  osiągnano w temperaturze około  $1070^\circ\text{C}$ . Stosowano również mieszanki kaolinitu i różnych bentonitów w różnym stosunku oraz dodatków mąki. Stwierdzono, że dodatek mąki obniża wytrzymałość masy w całym zakresie temperatur.

Literatura radziecka [4], [5] i niemiecka [6], [10], [11] wspomina o tego rodzaju badaniach podając warunki badania i stosowaną aparaturę. P. Nicolas [6] przypisuje duże znaczenie charakterystyce krzywej wytrzymałość-temperatura w zakresie temperatur powyżej temperatury maksymalnej wytrzymałości i porównuje wytrzymałość różnych mas w temperaturze  $1300^\circ\text{C}$ . Stwierdza, że oprócz rodzaju stosowanych glin i dodatków, na wytrzymałość w podwyższonych temperaturach silnie wpływa ilość lepi-szcza i wilgotność masy w stanie świeżym.

Z. Petrzela [8], [9] przeprowadził oznaczenie wytrzymałości na ściskanie w zależności od temperatury różnego rodzaju piasków formierskich



i mas syntetycznych z dodatkiem różnych bentonitów w tym uaktywnionych sodą oraz masy szamotowej zestalonej chemicznie z dodatkiem szkła wodnego. Maksymalną wytrzymałość na ściskanie wahającą się dla poszczególnych badanych mas w granicach od 10 do 100 kg/cm<sup>2</sup> osiągał w zakresie temperatur 800—1000°C. Wyjątek stanowiły masy utwardzane chemicznie wykazujące max. przy ok. 500°C oraz jeden z piasków formierskich i masa utwardzana chemicznie z dodatkiem pyłu węglowego nie wykazujące w ogóle maximum.

S. Jarzębski [11] badając wpływ pyłu węgla kamiennego na właściwości mas, uzyskał dla mas składających się z piasku kwarcowego i gliny kaolinitowej z dodatkiem pyłu węglowego różnych typów, maximum wytrzymałości na ściskanie wynoszące w poszczególnych przypadkach 2,0—5,0 kG/cm<sup>2</sup> w zakresie 600—800°C.

Przebieg krzywych „wytrzymałość-temperatura” dla mas bentonitowych, analizują szczegółowo w swej pracy J. Evans i J. White [13], uzasadnienie ich przebiegu popierając dodatkowymi badaniami.

Literatura radziecka [4] podaje bez danych liczbowych, że masy ze spoiwami organicznymi zmniejszają swoją wytrzymałość ze wzrostem temperatury.

### **Wpływ wytrzymałości masy w podwyższonych temperaturach na wady odlewnicze**

Należy się zastanowić, czy badania laboratoryjne zmiany wytrzymałości mas formierskich ze wzrostem temperatury przy powolnym ogrzewaniu mają jakieś znaczenie praktyczne i jakie, czy wzrost lub spadek wytrzymałości masy jest przyczyną wad odlewniczych, jakie wady może powodować i w jakim stopniu na ich występowanie wpływa.

Mimo wielu opracowań wykresów wytrzymałość-temperatura, żaden z autorów podając możliwy wpływ wytrzymałości masy w podwyższonych temp. na zachowanie się masy w formie i wady odlewnicze, nie uzasadnia tego, podając raczej „na wyczucie” lub przez dowody pośrednie.

Najczęściej w literaturze powtarza się twierdzenie, że wzrost wytrzymałości masy w podwyższonych temp. jest przyczyną hamowania, skurczu, powstawania rys i pęknięć odlewów.

Evens [13] uważa, że jest to mniemanie, które rozpowszechniło się bezpodstawnie wśród odlewników bezpośrednio po ogłoszeniu wyników pierwszych badań nad zmianą wytrzymałości masy ze wzrostem temperatury.

Opierając się na dotychczasowych badaniach laboratoryjnych z tego zakresu oraz na pomiarze rozkładu temperatur w formie piaskowej w zależności od czasu — uważa, że istnieje bardzo małe prawdopodobieństwo wywoływania rys i pęknięć odlewów przez masę, którego właściwie nie należy brać pod uwagę.

W. N. Sawiejko twierdzi, że przyczyną pęknięć może być zbyt wysoka wytrzymałość masy i podaje nawet górne granice wytrzymałości dla różnych przypadków.

Wg L. Petrzeli określenie wpływu wytrzymałości masy w podwyższonych temperaturach na pęknięcia musi być uzupełnione oznaczeniem przenoszenia ciepła przez masę formierską.

Wytrzymałość masy w podwyższonych temp. ma niewątpliwie wpływ na jej podatność. Gra tu jednak rolę również rozszerzalność cieplna masy względnie jej skurczliwość i zdolność dodatkowego zagęszczenia w podwyższonych temp. pod wpływem nacisku kurczących się części odlewu. Wytrzymałość masy nie może być więc bezpośrednio miarą podatności, ale tylko jednym z czynników wpływających na podatność.

Nie stwierdzono też jaki wpływ ma wytrzymałość masy w podwyższonych temperaturach na inne wady odlewów jak: wypchnięcia, zaprószczenia, strupy, wymycie. Opinie na ten temat podawane są też „na wyczcucie”.

L. Petrzel [9] stwierdza tylko, że wytrzymałość w podwyższonych temperaturach ma wpływ na powstawanie wypchnięć, strupów i zaprószczeń. Równocześnie zasadniczy wpływ na powstawanie strupów przypisuje rozszerzalności cieplnej.

Praca J. Szreniawskiego „Działanie strumienia ciekłego metalu na powierzchnię formy” [19] która rozpatruje działanie strugi metalu na masę, nie łączy zjawiska wybijania i wymywania masy przez metal z jej wytrzymałością w danych temperaturach.

Wydaje się jednak, że zjawisko działania strugi ciekłego metalu na masę może być powiązane z jej wytrzymałością w podwyższonych temperaturach.

Za podstawę prób w niniejszej pracy przyjęto początkowo metodę badania zjawiska wymywania masy przez metal opracowaną przez J. Szreniawskiego.

Jednakże nie uzyskano widocznych różnic wymycia mas różnych typów, ponadto metoda ta nawet w przypadkach prób przeprowadzonych przez samego autora J. Szreniawskiego nie pozwalała na uzyskanie żadnych danych liczbowych.

## BADANIA WŁASNE

### I. Wytrzymałość masy w podwyższonych temperaturach

#### Opis badań

Celem porównania wpływu różnych materiałów wiążących na wytrzymałość mas w podwyższonych temperaturach przeprowadzono tego rodzaju badania dla mas ze spoiwami stosowanymi w kraju:

- a) syntetycznych mas bentonitowych i naturalnej masy formierskiej,
- b) mas ze spoiwami organicznymi,
  - masy olejowej,
  - masy z dodatkiem ługu posiarczynowego,
  - masy dekstrynowej bez dodatku innych spoiw,
  - masy bentonitowo-dekstrynowej,
  - masy z dodatkiem iądronu,
- c) masy utwardzanej chemicznie (ze szkłem wodnym jako spoiwem).



Wszystkie masy syntetyczne (masy 1—3 i 5—10 wg oznaczeń tabeli 1) sporządzono z piasku kwarcowego płukanego z Krzeszówka 1 K-70/100/50-75-1600. Charakterystykę ziarnistości tego piasku podaje rysunek 1. Masę nr 4 wg oznaczeń tabeli 1 wykonano z piasku formierskiego P-70/50/100-75 ponad 1350° o charakterystyce ziarnowej podanej na rys. 2.

Dla stosowanych bentonitów oznaczono koloidalność met. Aronowicza i chłonność wody metodą Enslina na aparacie o średnicy mikrobiurety ok. 2,5 mm i średnicy zbiornika z płytką mikroporowatą 20 mm.

Koloidalność wynosi dla:

bentonitu krajowego	— 14 %,
„ węgierskiego „O”	— 16 %,
„ jugosłowiańsk. M-83	— 65 %.

Chłonność wody wynosi dla:

bentonitu krajowego	— 127 %,
„ węgierskiego „O”	— 143 %,
„ jugosłowiańsk. M-83	— 620 %.

Próby wytrzymałości w podwyższonych temp. przeprowadzono w pionowym, rurowym piecu sylitowym pokazanym na zdjęciu (rys. 3). Kształtki umieszczono między dwoma wspornikami grafitowymi. Górny wspornik był obciążony śrutem przez przekładnię dźwigniową.

Masy sporządzono w laboratoryjnej mieszarce krążnikowej. Czas mieszania wynosił 8—15 min. zależnie od rodzaju masy. Bezpośrednio po wykonaniu masy sporządzono znormalizowane kształtki do oznaczania przepuszczalności i wytrzymałości w stanie wilgotnym. Kształtki do oznaczania wytrzymałości w podwyższonych temperaturach wykonywano również bezpośrednio po sporządzeniu masy.

Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie w podwyższonych temperaturach przeprowadzono na kształtkach walcowych o średnicy 28 mm i wysokości  $50 \pm 1$  mm zagęszczonych trzema uderzeniami ubijaka o ciężarze obciążnika wynoszącym 2,00 kg.

Kształtki z masy ze szkłem wodnym owiewano po zagęszczeniu w tulejce w ciągu 10 sek. dwutlenkiem węgla pod ciśnieniem 1 atm. Kształtki z masy olejowej „W” suszono w suszarce laboratoryjnej w ciągu 1 godz. w temp. 220°C, pozostałe w ciągu 1 godz. w temp. 150°C. Kształtki po wysuszeniu studzono na wolnym powietrzu.

Oznaczenie wytrzymałości w podwyższonych temperaturach przeprowadzono po 20—23 godz. od wysuszenia kształtki.

Kształtki wprowadzono do pieca nagrzanego do temperatury badania i obciążono stopniowo po 10 min. nagrzewania w danej temperaturze.

Tabela 1 i rys. 4—6 podają wyniki oznaczeń.

Podane wartości wytrzymałości stanowią średnią z trzech oznaczeń. Przy dużej rozbieżności wyników badano w tej samej temperaturze nie trzy, a cztery, pięć lub nawet sześć kształtek. Badania wykonywano maximum do 1100°C ze względu na to, że w piecu w którym wykonywano oznaczenia nie można było uzyskać wyższej temperatury.

Tablica I

Oznaczenia wytrzymałości mas w podwyższonych temperaturach

Lp.	Skład masy (procent wagowy)	Właściwości w stanie wilgotnym		Wytrzymałość na ściskanie $R_c^t$ kG/cm <sup>2</sup> w temperaturze °C											
		Przepusz. $R_w^t$ cm <sup>3</sup> /min	Wytrzym. $R_c^w$ kg/cm <sup>2</sup>	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1700
1.	Piasek kwarc. 92 — bent. krajowy 8%, woda 3%	130	0,65	2,06	2,54	2,78	3,00	3,25	3,39	4,05	4,95	9,95	6,60		
2.	Piasek kwarc. 92%, benton. węgl. 8%, woda 3%	150	0,68	2,95	4,35	4,40	5,15	5,75	6,40	7,45	8,25	9,50	4,10		
3.	Piasek kwarc. 92%, bent. Jugosi. M83 — 8%, woda 3%	130	0,80	1,77	2,92	3,00	3,09	3,48	4,15	4,34	9,75	15,15	6,70	3,40	
4.	Piasek form. P70/50/100, 100%, woda 4%	100	1,10	1,65	2,00	3,30	2,40	3,85	4,50	5,50	5,55	5,80	6,25	7,80	
5.	Piasek kwarc. 100%, olej „W” — 2%	150	0,025	22,50	20,20	20,60	21,00	14,05	2,30	0,30	0,10	rozszypują się bez obciążenia			
6.	Piasek kwarc. 100% ług posiarcz. oc. wł. 1,27 — 3%	150	0,06	16,25	12,3	5,70	4,05	1,05	0,25	0,23	0,15	rozszypują się bez obciążenia			
7.	Piasek kwarc. 97%, dekstr. 3%, woda 2,5%	130	0,05	57,00	57,00	39,20	17,70	0,82	0,38	0,28	0,29	0,58	0,83	0,63	0,53
8.	Piasek kwarc. 94%, benton. węgl. 3%, dekstr. 3%, woda 3%	130	0,18	42,10	29,50	19,50	3,75	2,35	3,35	3,60	4,10	2,35	2,05	1,25	0,60
9.	Piasek kwarc. 95%, jądrot. nit 5%, woda 2%	140	0,12	4,70	4,40	3,20	1,30	0,70	0,20	0,10	rozszypują się bez obciążenia				
10.	Piasek kwarc. 100%, szkło wodne M-2, 61.c.wł. 1,35 — 6%	190	0,05	30,00	37,00	43,00	63,00	77,00	43,70	3,30	1,60	0,60	0,75	0,85	0,70



Badanie stopnia wymycia masy przez metal.

L. p.	Skład masy	Właściciel masy	Temp. zalewania wg pirometru opt. „Pyro“ bez poprawki	Średnica „ślepego“ otworu kontrolnego	Średnica wlewów				Średnia wartość średn. wlewu	Powierz. „ślepego“ otworu kontrolnego	Powierz. wlewu średnia	Linijowy wsk. wym. e — przyrost. średn. wlewu w odn. do otworu kontr. w mm	Powierz. wsk. wym. E — przyr. pow. wlewu w odnies. do otw. kontroln. w mm <sup>2</sup>	Przeciętny wsk. wymycia e mm dla danej masy	Przeciętny wsk. wymycia E mm <sup>2</sup> dla danej masy		
					górną cz. wlewu		dolną cz. wlewu									w mm	w mm <sup>2</sup>
					poszcz. wlewy	średn. wartość	poszcz. wlewy	średn. wartość									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	Masa bentonitowa Bentonit węg. „O“ — 8% wag. piasek kwarc. z Krzeszcz. — 92% wag. woda — 3,5% wag.	$P^w$ — 130 cm <sup>4</sup> /Gmin $R_c^w$ — 0,80 kG/cm <sup>2</sup>	1340	7,4	7,5	7,5	7,4	7,55	7,5	43,01	44,18	0,1	1,17	0,18	2,04		
2					7,5		7,6									7,5	
3		$R_c^s$ — 3,15 kG/cm <sup>2</sup>		7,5	7,5	7,7											
4		$R_r^s$ — 0,74 kG/cm <sup>2</sup>		7,4	7,5	7,6											
5		$P^w$ — 140 cm <sup>4</sup> /Gmi. $R_c^w$ — 0,82 kG/cm <sup>2</sup>		1320	7,3	7,8	7,6	7,8	7,6	7,6	41,85	45,36	0,3			3,51	
6						7,7		7,6									7,4
7		$R_c^s$ — 3,07 kG/cm <sup>2</sup>		7,3	7,5	7,5											
8		$R_r^s$ — 0,68 kG/cm <sup>2</sup>		7,2	7,3	7,4											
9	Naturalna masa fornierska Piasek form. 100% wag. woda 4,5% wag.	$P^w$ — 90 cm <sup>4</sup> /Gmi. $R_c^w$ — 1,45 kG/cm <sup>2</sup>	1330	7,3	7,5	7,45	7,5	7,5	7,5	41,85	44,18	0,2	2,92				
10					7,3		7,5							7,5			
11	$R_c^s$ — 1,90 kG/cm <sup>2</sup>	7,2	7,5	7,7													
12	$P^w$ — 85 cm <sup>4</sup> /Gmi. $R_c^w$ — 1,20 kG/cm <sup>2</sup>	1340	7,4	7,5	7,55	7,6	7,6	7,6	43,01	45,36	0,2	2,35					
13				7,6		7,6							7,5				
14	$R_c^s$ — 2,02 kG/cm <sup>2</sup>	7,3	7,4	7,5													
15	$R_r^s$ — 0,40 kG/cm <sup>2</sup>	7,3	7,4	7,5													
16		7,5	7,4	7,7													
17		7,5	7,5	7,7													



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	16
9		$P^w$ — 95 cm <sup>4</sup> /Gmin. $R_c^w$ — 1,25 kG/cm <sup>2</sup> $R_c^s$ — 2,00 kG/cm <sup>2</sup> $R_r^s$ — 0,45 kG/cm <sup>2</sup>	1320	7,5	7,9 7,9 7,7 7,7	7,8	7,8 7,9 7,9 8,0	7,9	7,85	44,18	48,40	0,25	4,22		
10				7,5	7,7 8,0 7,9 7,6	7,8	7,7 8,0 8,1 7,8	7,9	7,85	44,18	48,40	0,35	4,22		
11				7,5	7,9 7,8 7,8 8,1	7,9	7,6 8,0 7,7 7,7	7,75	7,8	44,18	47,78	0,3	3,60		
12				7,5	7,8 7,8 7,8 7,7	7,8	8,1 7,6 7,7 7,6	7,75	7,8	44,18	47,78	0,3	3,60		
13	Masa ze szkłem wodnym Szkło wodne — 6% wag. pias. kwarc. z Krzesz. — 100% wag.	$P^w$ — 200 cm <sup>4</sup> /Gmin. $R_c^w$ — 0,10 kG/cm <sup>2</sup> $R_c^s$ — 8,00 kG/cm <sup>2</sup> $R_r^s$ — 3,90 kG/cm <sup>2</sup>	1330	7,3	8,0 8,0 7,9 8,0	8,0	8,0 7,9 8,0 strup	8,0	8,0	41,85	50,27	0,7	8,42	0,65	7,82
14				7,4	8,0 8,0 8,0 7,9	8,0	8,0 8,0 8,0 8,0	8,0	8,0	43,01	50,27	0,6	7,21		
15	Masa dekstrynowa Dekstryna 3% wag, pias. kwarc. z Krzesz. — 100% wag. woda 2,5% wag.	$P^w$ — 125 em <sup>4</sup> /Gmin. $R_c^w$ — 0,10 kG/cm <sup>2</sup> $R_c^s$ — 8,00 kG/cm <sup>2</sup> $R_r^s$ — 5,40 kG/cm <sup>2</sup>	1350	6,7	7,8 7,5 7,8 7,7	7,7	7,9 7,9 7,9 8,2	8,0	7,8	35,26	47,78	1,1	12,52	1,31	15,74
16				6,7	7,8 7,8 8,0 7,6	7,8	9,0 9,0 9,0 9,0	9,0	8,4	35,26	55,42	1,7	20,14		
17			1330	6,9	7,9 7,5 8,2 8,5	8,0	8,5 8,4 9,0 9,2	8,8	8,4	37,39	55,42	1,4	18,03		
18				6,9	8,0 7,8 7,8 7,9	7,9	8,0 8,0 8,0 8,1	8,0	7,95	37,39	49,64	1,04	12,25		



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
19	Masa olejowa Olej W — 2% wag. piasek kwarc. z Krzesz. — 100% wag.	$P^w$ — 140 cm <sup>4</sup> /Gmin. $R_c^w$ — 0,10 kG/cm <sup>2</sup> $R_c^s$ — 8,00 kG/cm <sup>2</sup> $R_r^s$ — 3,50 kG/cm <sup>2</sup>	1350	6,0	7,8 7,6 7,6 7,6	7,65	7,9 7,9 7,9 7,8	7,9	7,8	28,27	47,78	1,8	19,51	2,38	27,30
20			1340	6,0	7,8 8,5 10,5 9,5	9,1	8,9 10,0 11,0 10,0	10,0	9,5	28,27	70,88	3,5	42,51		
21			1320	6,2	8,2 7,7 8,5	8,1	8,5 7,8 8,5 9,0	8,45	8,3	30,19	54,11	2,1	23,92		
22				6,0	8,2 7,7 8,4 7,6	8,0	8,1 8,4 7,8 8,3	8,2	8,1	28,27	51,53	2,1	23,26		



## Omówienie wyników

1. Masy bentonitowe wykazują maximum wytrzymałości przy 800°C (rys. 4 — masy 1, 2, 3), przy czym najwyższą wartość wytrzymałości maksymalnej nadaje masie bentonit jugosłowiański (rys. 4 — masa 3). Badany piasek formierski (rys. 4 — masa 4) nie wykazał maximum w zakresie temperatury badania.

Krzywe wytrzymałości dla bentonitów (rys. 4 — masy 1, 2, 3) w niższych temperaturach, a dla piasku formierskiego (rys. 4 — masa 4) w całym zakresie temperatur badania mają przebieg łagodny.

Masa z bentonitem węgierskim mająca wyższą wytrzymałość w temperaturze pokojowej od pozostałych mas, wykazuje ze wzrostem temperatury wzrost różnicy w wartościach wytrzymałości w poszczególnych temperaturach w stosunku do pozostałych mas. Wartość wytrzymałości w poszczególnych temperaturach dla masy 1, 3, 4 są zbliżone.

Masa z bentonitem krajowym (rys. 4 — masa 1) wykazuje silny wzrost wytrzymałości między 700—800°C, masa z bentonitem jugosłowiańskim (rys. 4 — masa 3) gwałtowny między 600—800°C. Wszystkie badane masy bentonitowe charakteryzują się gwałtownym spadkiem wytrzymałości po przekroczeniu temperatury maksymalnej wytrzymałości.

Charakter otrzymanych krzywych jest podobny do uzyskanych w badaniach amerykańskich [1], [2], niemieckich [6] i czechosłowackich [8], [9]. Maximum występuje jednak w niższych temperaturach niż wg danych z literatury, gdzie w większości przypadków masy bentonitowe osiągają maximum wytrzymałości w około 1000°C. Bezwzględne wartości maksymalnej wytrzymałości są niższe niż w badaniach amerykańskich i L. Petrzelii.

Między tymi badaniami nie można jednak przeprowadzić ścisłego porównania ze względu na stosowanie różnych składników, w tym również osnowy masy, różnego składu procentowego i nie identycznych warunków badania. Nie ulega jednak wątpliwości tak na podstawie badań własnych jak i literatury, że syntetyczne masy bentonitowe jak i piaski formierskie zwiększają swoją wytrzymałość ze wzrostem temperatury do pewnego maximum, a następnie zachodzi spadek wytrzymałości z dalszym wzrostem temperatury.

2. Masy ze spoiwami organicznymi nie wykazują na wykresie wytrzymałość-temperatura charakterystycznego dla mas o lepiszczu ilowym maximum wytrzymałości.

Masa dekstrynowa (rys. 5 — masa 7) o bardzo wysokiej wytrzymałości na rozciąganie w stanie wysuszonym zachowuje ją w temperaturze 100°C, a w wyższych temperaturach w zakresie 100—400°C następuje bardzo silny spadek wytrzymałości, po czym zachowuje we wszystkich wyższych temperaturach badania minimalną wytrzymałość  $R_c^t$  poniżej 1 kG/cm<sup>2</sup>. Gwałtowny spadek



wytrzymałości w zakresie 100—400°C spowodowany jest wypaleniem się spoiwa dekstrynowego.

Masa dekstrynowa z dodatkiem bentonitu węgierskiego (rys. 5 masa 8) daje wyniki pośrednie między „czysto” dekstrynową, a „czysto” bentonitową. Początkowo następuje do 400°C spadek wytrzymałości, jak w masach „czysto” dekstrynowych, a następnie pewien choć bardzo słaby wzrost wytrzymałości osiągający maximum w 800°C i dalszy spadek ze wzrostem temperatury jak w masach „czysto” bentonitowych.

Masa z olejem „W” (rys. 5 — masa 5) o wytrzymałości wyjściowej niższej od masy dekstrynowej i dekstrynowo-bentonitowej praktycznie nie zmienia swej wytrzymałości do 300°C, gwałtownie obniża wytrzymałość do 600°C, w powyżej 700°C traci zupełnie wytrzymałość. Masa z ługiem posiarzynowym (rys. 9 — masa 6) o wytrzymałości wyjściowej niższej niż dla masy z olejem „W” wykazuje ciągły spadek wytrzymałości, przy czym do temperatury 500°C jest on dość silny, osiągając w 500°C bardzo niską wytrzymałość na ściskanie  $R_c^t = 0,25 \text{ kG/cm}^2$ .

Masa z jądronitem (rys. 5 — masa 9) wykazuje również ciągły spadek wytrzymałości ze wzrostem temperatury, a począwszy od 600°C wytrzymałość jej praktycznie równa się zeru.

3. Masa ze szkłem wodnym wykazuje maximum wytrzymałości w 400°C i gwałtowny jej spadek między 500—600°C z charakterystycznym bardzo silnym wzrostem plastyczności w tym zakresie. Dane te zgodne są z wynikami L. Petrzeli [8], [9].

## II. Wymycie masy przez metal

### Opis badań

Najwłaściwszą ze wszystkich stosowanych prób okazała się próba przepływu określonej ilości metalu przez sitka z badanej masy. Rys. 7 pokazuje schemat formy próbnej i wymiary sitka. Stosunek średnicy do długości wlewu wynosi ok. 3,5.

Badania przeprowadzono dla żeliwa Zl 26. Ciężar przelanego metalu (odlewu) wynosił 15,30—15,60 kG. Formę zalewano z 50 kG kadzi ręcznej strumieniem ciągłym. W czasie zalewania zbiornik wlewowy był cały czas zapełniony. Strumień metalu przy zalewaniu kierowano na boczną część zbiornika, tak aby nie uderzał on bezpośrednio we wlewy.

Miarą porównawczą wymycia są różnice średnic metalu skrzepłego we wlewach i „ślepych” otworach sitek.

Próby przeprowadzono na pięciu masach, takich samych jakich używano do oznaczeń wytrzymałości w podwyższonych temperaturach.

Masy te wybrano jako przedstawicieli charakterystycznych grup:

- 1) masa bentonitowa,
- 2) naturalna masa formierska,



3) masy ze spoiwami organicznymi:

- a) z dekstryną,
- b) z olejem „W”,

4) masa ze szkłem wodnym.

W przypadku masy bentonitowej podwyższono zawartość wody z 3,0 na 3,5 %, a w przypadku naturalnej masy formierskiej z 4,0 na 4,5 % celem podwyższenia wytrzymałości na sucho, ponieważ słabe sita trudno było umocować w formie.

Wykonanie mas na sitka i suszenie było identyczne jak przy przygotowywaniu kształtek do oznaczenia wytrzymałości w podwyższonych temperaturach. Celem sprawdzenia jednolitego zagęszczenia sitek, sprawdzono po wykonaniu ich ciężar (sitka o niewłaściwym ciężarze odrzucono). Wyniki prób podaje tabela 2.

### O m ó w i e n i e w y n i k ó w

Najmniejsze wymycie wykazują masy kwarcowo-iłowe, liniowy wskaźnik wymycia waha się w granicach  $e = 0,18 \text{ mm} - 0,29 \text{ mm}$ .

Masa bentonitowa ma niższą wytrzymałość w stanie wilgotnym od naturalnej masy formierskiej, wyższą w stanie wysuszonym (dla masy bentonitowej

$$R_c^w = 0,81 \text{ kG/cm}^2, \quad R_r^s = 0,71 \text{ kG/cm}^2,$$

dla naturalnej masy

$$R_c^w = 1,30 \text{ kG/cm}^2, \quad R_r^s = 0,42 \text{ kG/cm}^2),$$

a wymycie jej jest mniejsze.

Masa ze szkłem wodnym daje większe wymycie  $e = 0,65 \text{ mm}$ . Wytrzymałość jej w stanie wilgotnym jest bardzo niska  $R_c^w = 0,10 \text{ kG/cm}^2$ , a po wysuszeniu wyższa od mas iłowych  $R_r^s = 3,90 \text{ kG/cm}^2$ .

Masy ze spoiwami organicznymi wykazują najwyższy wskaźnik wymycia w granicach  $e = 1,31 - 2,38 \text{ mm}$ .

Wytrzymałość ich w stanie wilgotnym jest bardzo niska  $R_c^w = 0,10 \text{ kG/cm}^2$ , a wytrzymałość po wysuszeniu w temperaturze otoczenia jest stosunkowo wysoka i wynosi dla masy dekstrynowej  $R_r^s = 5,40 \text{ kG/cm}^2$ , dla masy olejowej  $R_r^s = 3,50 \text{ kG/cm}^2$ .

Najwyższą wytrzymałość w stanie wysuszonym ze wszystkich badanych mas ma masa dekstrynowa ale największe wymycie wykazuje masa olejowa.

Ponadto na wlewach w próbach wymycia masy olejowej zauważono dużą nieregularność przekroju oraz występowanie strupów i wżarć.

Stwierdzono kolejność stopnia wymycia badanych mas w porównaniu z wytrzymałością tych mas w stanie wilgotnym i po wysuszeniu, pozwala sądzić, że wytrzymałość w stanie wilgotnym jak i suchym nie ma istotnego wpływu na wymycie. Można jedynie stwierdzić, że masy ze spoiwami organicznymi mimo dużo większej wytrzymałości po wysuszeniu od mas iłowych charakteryzują się dużo silniejszym wymyciem.



Tablica III

Kolejność wzrostu stopnia wymycia, odpowiada uszeregowaniu mas wg coraz mniejszej wytrzymałości w temperaturach 700—800 °C.

		Liniowy wskaźnik wymycia w mm	Wytrzymałość $R_c^t$ w temperaturze	
			700 °C	800 °C
1	Masa bentonitowa (b. węgierski „O“)	0,18	8,25	9,50
2	Naturalna masa formierska	0,29	5,80	6,25
3	Masa ze szkłem wodnym	0,65	1,60	0,60
4	Masa dekstrynowa	1,31	0,29	0,58
5	Masa olejowa (Olej „W“)	2,38	0,10	0,00

### Wnioski

1. Spoiwa bentonitowe powodują wzrost wytrzymałości masy ze wzrostem temperatury do pewnej granicy (800°C) i następny jej spadek.

Spoiva organiczne wywołują zmniejszenie się wytrzymałości masy ze wzrostem temperatury. Silny spadek wytrzymałości zachodzi w zakresie wypalania się spoiwa, zależnie od rodzaju spoiwa w różnych temperaturach w granicach 100—500°C.

2. Przeprowadzone badania wymywania masy przez żeliwo wykazały, że najsilniej podlegają wymywaniu masy ze spoiwami organicznymi, słabiej ze szkłem wodnym, najmniej naturalna masa formierska i masy bentonitowe.
3. Wymycie masy zależy od jej wytrzymałości w wyższych temperaturach (począwszy od 700°C).
4. Masy ze spoiwami organicznymi nie nadają się na układy wlewowe, przeponki, części rdzeni i form silnie narażonych na działanie strumienia ciekłego metalu.

Najlepiej nadają się do tego celu masy ze spoiwami ilowymi.

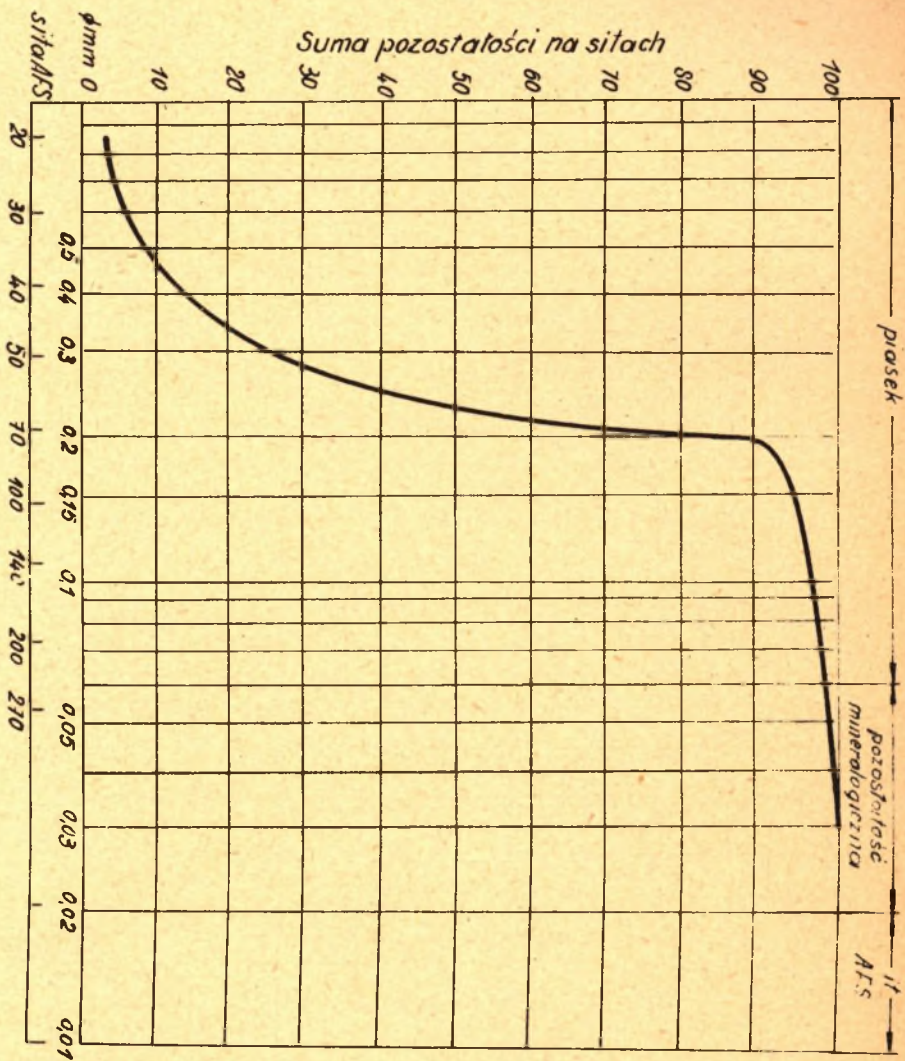
### LITERATURA

- [1] K. Endell: *Erfahrungen über synthetische Formsande mit Bentonit in den Vereinigten Staaten* 1941.
- [2] Ch. Briggs: *The Metallurgy of Steel Casting*. Nev-York, London 1946.
- [3] R. P. Kuzin, A. D. Popow: *Prigar i zasory na stalnych otlivkach*. Maszgiż, Swierdłowski, Moskwa 1947.



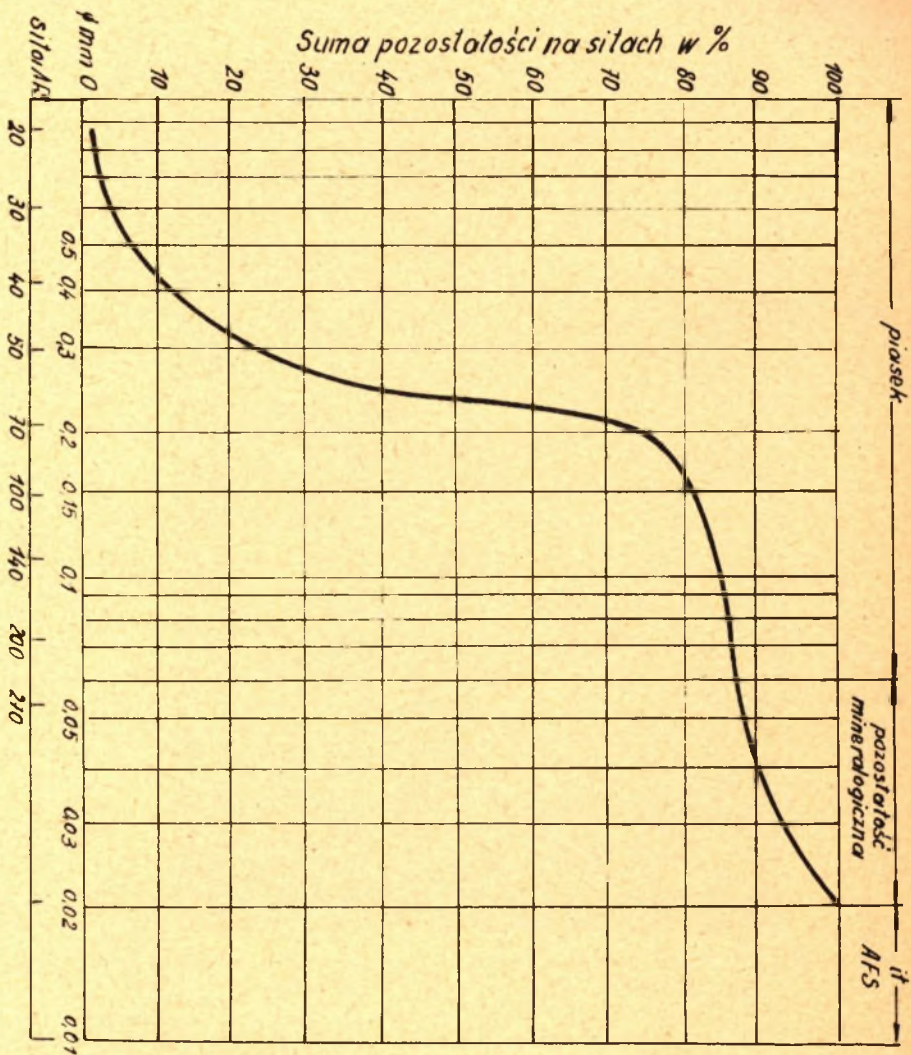
- [4] *Maszinostrojenije*. Encikłopediczeskij sprawocznik, t. XIV, Moskwa 1948.
- [5] A. M. Lass, I. A. Wilwskaja, A. M. Dybrowskij: *Pribor dlja ispytanij formowocznych matieriałow pri wysokich tiempieraturach*. Litiejnoje Proizwodstwo nr 5/1954.
- [6] P. Nicolas: *Das Verhalten von Formsand bei hohen Temperaturen*. Giesserei zesz. 13/1954.
- [7] W. Wegener: *Das Verhalten des Vormsandes während des Form- und Giessverganges bei Grauguss und die Prüfung des Formsandeigenschaften*. Giesserei zesz. 10/1955.
- [8] L. Petrzela: *Die Erzeugung chemisch geharteter Formen (CO<sub>2</sub> — Verfahren)*. Ref. z Kongresu Odlewników w Lipsku 28—30 maja 1956.
- [9] L. Petrzela: *Vlastnosti formovacich latek za wissich teplot*. Slewarenstvi nr 10 1956 (tłumaczenie tego artykułu — Przegląd Odlewnictwa nr 3/1957).
- [10] H. W. Dietert, V. W. Rowell, A. L. Graham: *Hohtemperaturprüfungen und ihre Berichung zu Güssfehlern*. Ref. z 23 Międzyn. Kongresu Odlewników w Düsseldorfie, 1956.
- [11] S. Jarzębski: *Właściwy pył węgla czarnego w masie formierskiej*. Przegląd Odlewnictwa nr 9/1956.
- [12] F. W. Nield, D. Epstein: *Wasserglas als Bindemittel für Form- und Kernsande*. Giesserei sierp. 1958.
- [13] J. Evans, J. White: *The effect of heat on the proper ties of compacted moulding materials*. Britisch Foundryman nr 12/1958.
- [14] J. Szreniawski: *Działanie strumienia ciekłego metalu na powierzchnię formy*. Zeszyt Nauk. Pol. Łódzkiej, Mechanika nr 6/1957.
- [15] J. Lutosławski: *Wady odlewów staliwnych*. PWT Warszawa 1954.
- [16] J. Just: *Badania laboratoryjne materiałów ogniotrwałych*. Wyd. A. G. H Katowice 1956.
- [17] A. K. Sidorow: *Badania technologiczne surowców skalnych*. Wyd. Geol. Warszawa 1953.
- [18] Z. Tokarski: *Podstawowe wiadomości z ceramiki*. PWT Katowice 1951.





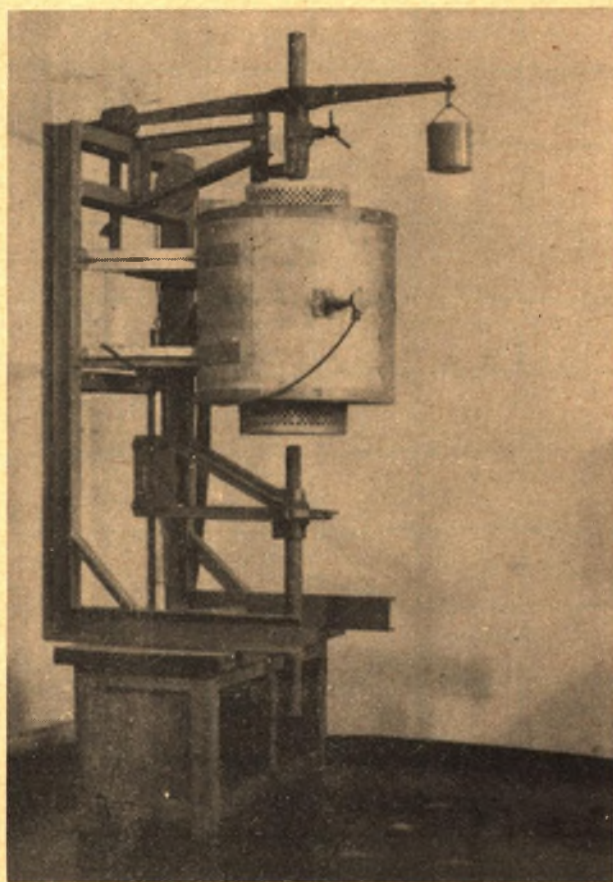
Rys. 1. Wykres ziarnistości piasku kwarcowego z Krzeszówka 1 K-70 50 100-75-1600





Rys. 2. Wykres ziarnistości piasku formierskiego P-70/50/100-75- ponad 1350

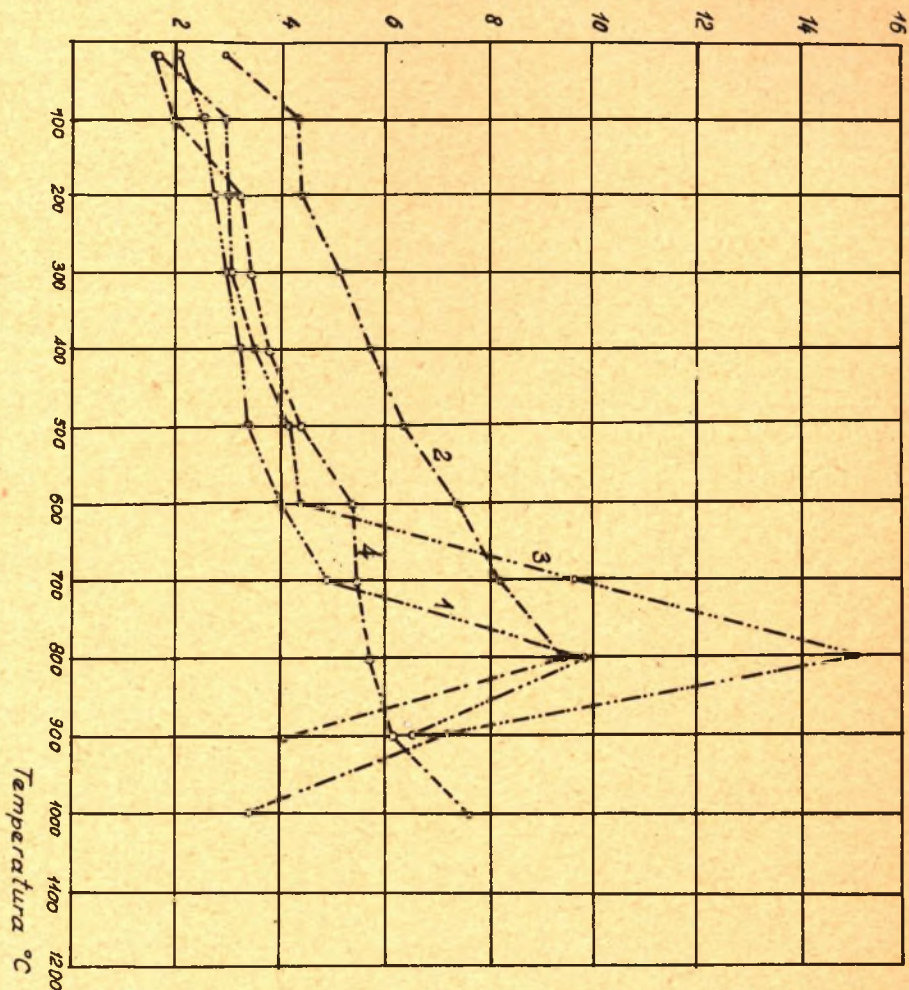




Rys. 3. Piec sylitowy przystosowany do oznaczania wytrzymałości kształtek z masy formierskiej w podwyższonych temperaturach



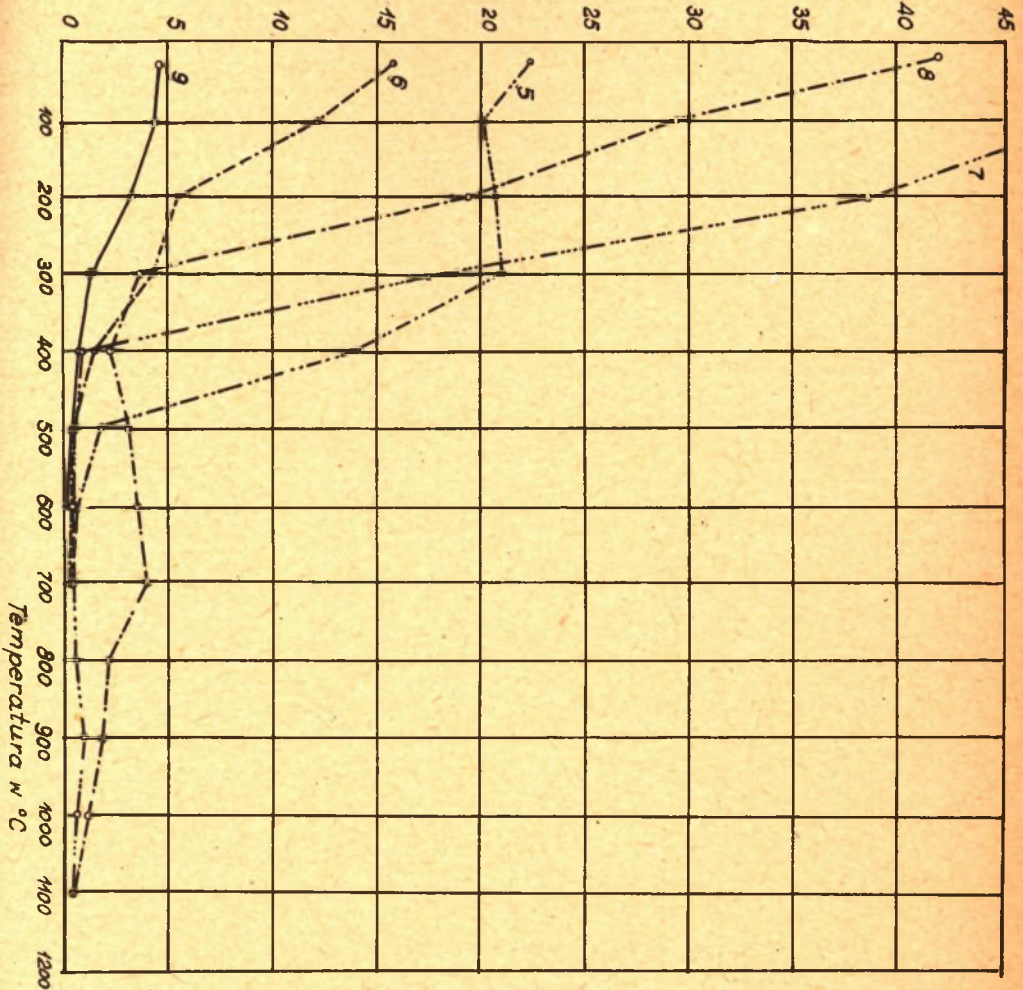
Wytrzymałość na ściskanie  $R_c^t$   $\text{kg/cm}^2$



Rys. 4. Wykres zależności wytrzymałości masy na ściskanie od temperatury

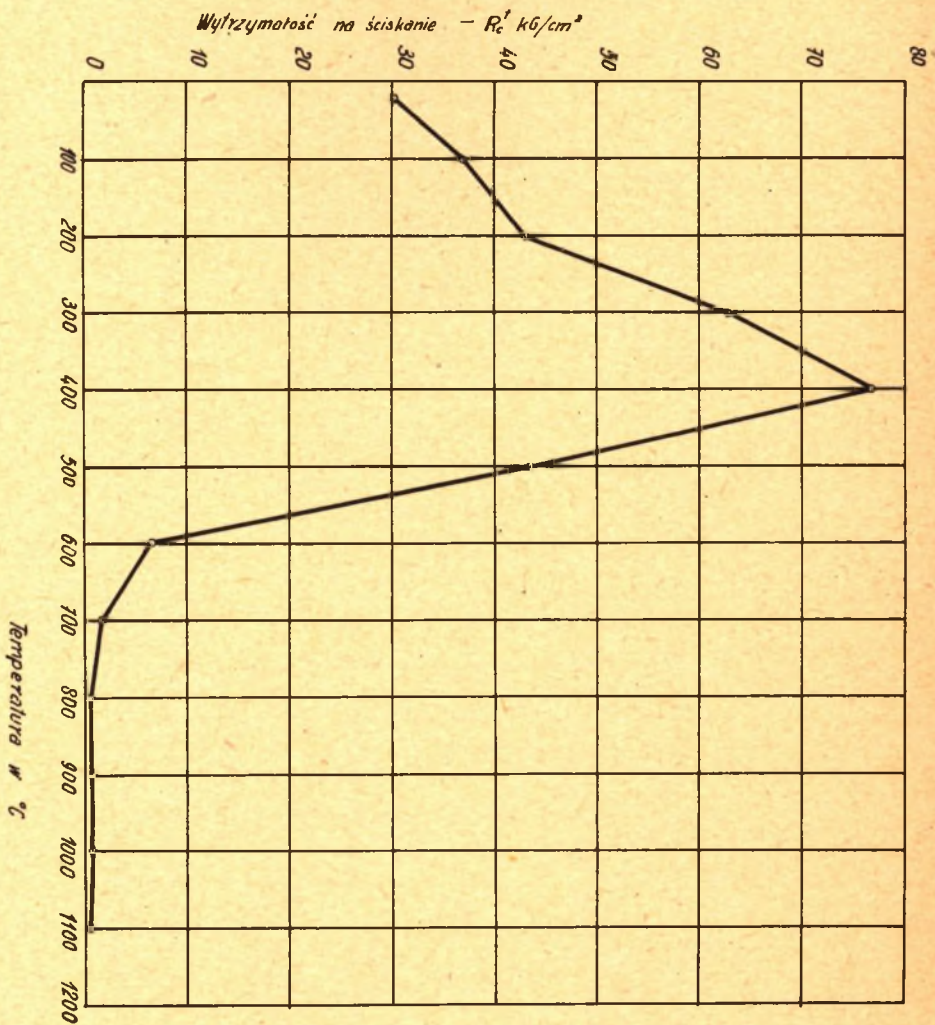
1 — masa z bentonitem krajowym, 2 — masa z bentonitem węgierskim „O”,  
3 — masa z bentonitem jugosłowiańskim M 83, 4 — masa z piasku formierskiego

Wytrzymałość na ściskanie  $R_c^t$   $\text{kg/cm}^2$

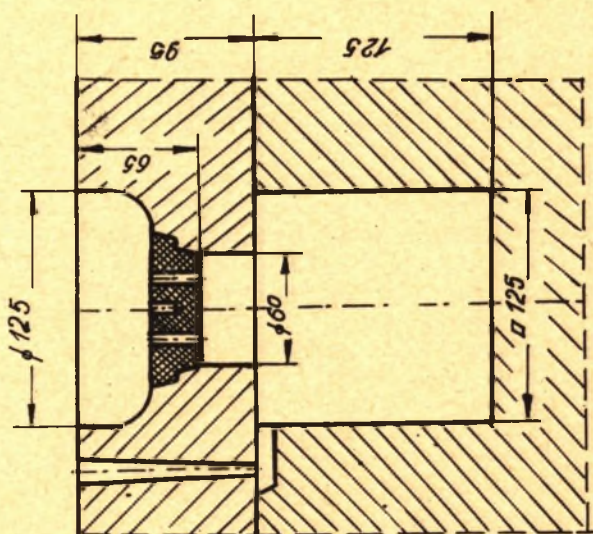
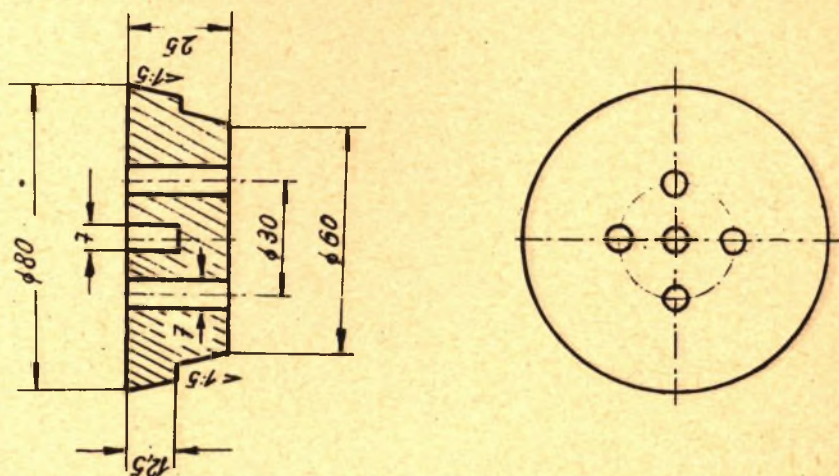


Rys. 5. Wykres zależności wytrzymałości masy na ściskanie od temperatury:  
 5 — masa z olejem „W”, 6 — masa z ługiem posiarczynowym, 7 — masa dekstrynowa, 8 — masa bentonitowo-dekstrynowa





Rys. 6. Wykres zależności na ściskanie od temperatury dla masy chemicznie utwardzanej ze szkłem wodnym



Rys. 7. Schemat formy i rdzenia używanego do badań wymywania masy przez metal