

STANISŁAW BŁASZCZYŃSKI
ALOŻY RYNCARZ

WZBOGACANIE RUD CHROMITOWYCH W HYDROCYKLONIE Z CIECZĄ CIĘŻKĄ ZAWIESINOWĄ

Streszczenie. Przedstawiono wyniki wzbogacania rud chromitowych - albańskiej, kubańskiej i radzieckiej w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawiesinową (w klasie ziarnowej 4,5-0,5 mm). W badaniach zastosowane hydrocyklony o średnicy \varnothing 200 mm oraz zawieszinę żelazokrzemową z dodatkiem magnetytu. Wykazano, że uzyskane rezultaty wzbogacania są optymalne - zbliżone do wyników rozdzielu w cieczach olejowych jednorodnych oraz, że nie można otrzymać czystszych produktów separacji ze względu na niedostateczne uwolnienie spineli chromowych w procesie rozdrabniania przy zachowaniu ww. górnej granicy wielkości ziarna.

1. Wstęp

Ruda chromitowa jest jednym z podstawowych składników materiałów ogniotrwałych stosowanych głównie w przemyśle hutniczym, cementowym i metali nieżelaznych. Prowadzona w szerokim zakresie intensyfikacja procesów technologicznych w przemyśle hutniczym jak i innych przemysłach, użytkujących wyroby z materiałów ogniotrwałych wymaga stosowania tych wyrobów o wyższych wskaźnikach jakościowych związanych z ich pracą w bardzo wysokich temperaturach.

Wytwarzanie wysokiej klasy materiałów ogniotrwałych uzależnione jest od udziału SiO_2 w podstawowych surowcach używanych do ich produkcji. Dla wytwarzania materiałów ogniotrwałych o średnim standardzie jakościowym zawartość SiO_2 w rudzie chromitowej musi być mniejsza od 4% przy niskiej zawartości Cr_2O_3 oraz niższa od 6% dla rud o wysokiej zawartości Cr_2O_3 [1].

Wyroby o najwyższym standardzie jakościowym można produkować z rud o wysokiej osystości - przy zawartości SiO_2 nie przekraczającej 2%. Tak czyste rudy można uzyskiwać wyłącznie na drodze wzbogacania.

Krajowy przemysł materiałów ogniotrwałych bazuje głównie na trzech gatunkach rud chromitowych - rudzie albańskiej o średniej zawartości SiO_2 = 10-12% i Cr_2O_3 = 40-42%, rudzie kubańskiej o zawartościach SiO_2 około 7% i Cr_2O_3 = 33-35% oraz mniejszych ilościach rudy radzieckiej o zawartości SiO_2 = 5-8% i Cr_2O_3 ponad 50%. Z powyższych danych wynika, że ruda kubańska i albańska w stanie surowym nie nadają się do produkcji

materiałów ogniotrwałych o średnim standardzie jakościowym ze względu na wysokie zawartości SiO_2 oraz niskie zawartości Cr_2O_3 . Ruda radziecka posiada znacznie wyższą zawartość Cr_2O_3 oraz niższą zawartość SiO_2 jednak również w stanie surowym nie nadaje się do produkcji materiałów ogniotrwałych o wysokich standardach jakościowych.

Istotne znaczenie w przydatności rud chromitowych dla potrzeb przemyślnictwa materiałów ogniotrwałych ma ich zawartość i twardość. Do produkcji najszlachetniejszych wyrobów ogniotrwałych używane są rudy o granulacji 0,5–4,0 mm. Z tego względu najbardziej przydatne są rudy twarde (zwarte) przy rozdrabnianiu których udział klas drobnych poniżej 0,5 mm jest bardzo mały. Klasa ta znajduje tylko ograniczone zastosowanie w przemyśle materiałów ogniotrwałych, większość natomiast jest hałdowana i stanowi materiał odpadowy [1].

Celem niniejszej pracy jest przebadanie możliwości obniżenia zawartości SiO_2 w rudzie chromitowej o uziarnieniu 0,5–4,5 mm przy równoczesnym podwyższeniu zawartości Cr_2O_3 na drodze wzbogacania. W związku z tym, że różnice ciężarów właściwych minerałów użytecznych (spinele chromowe - c.wł. 4,8–4,9 G/cm^3) i nieużytecznych (krzemionka - ciężar właściwy około 2,6 G/cm^3) w rudach chromitowych są dość znaczne postanowiono przeprowadzić wzbogacanie w urządzeniach wykorzystujących te różnice. Ponieważ rozwój urządzeń przerobowych, opartych na ruchu osylocyjnym do wzbogacania drobnych ziarn nie dał zadowalających wyników, jak również próby przystosowania klasycznych separatorów zawieszinowych do wzbogacania ziarn drobnych nie zapewniały skutecznego rozdziału, postanowiono zająć się badaniami nad wzbogacalnością rud chromitowych hydrocyklony, pracujące z zawieszinową cieczą ciężką jako urządzenia zapewniające w chwili obecnej najskuteczniejszy rozdział ziarn drobnych.

2. Ustalenie ciężaru właściwego rozdziału

Badania przeprowadzono na trzech próbkach rud chromitowych - albańskiej kubańskiej i radzieckiej dostarczonych z Instytutu Materiałów Ogniotrwałych. Do doświadczeń próby te zostały rozdrobnione stadialnie w kruszarce walcowej do 4,5 mm, a następnie odmulone na sicie ϕ 0,5 mm. Charakterystykę granulometryczną wraz z wynikami analiz chemicznych na zawartość Cr_2O_3 i SiO_2 w poszczególnych próbkach podano w tablicach 1, 2 i 3.

Jak widać z wyników zawartych w powyższych tablicach, próbka rudy radzieckiej jest najbogatsza w Cr_2O_3 - 55,64% a kubańskiej najuboższa - 35,32% Cr_2O_3 . Próbka rudy albańskiej zawierała 38,53% Cr_2O_3 . Rudy te różniły się również wyraźnie zawartością SiO_2 (albańska - 13,14%, kubańska - 7,08%, radziecka - 5,46%). Rozkład krzemionki i spineli chromowych w poszczególnych klasach ziarnowych był równomierny.

Jednokilogramowe próbki poszczególnych rud poddano rozdziałowi w jednorodnych cieczach ciężkich, sporządzonych z bromoformu i czterobromoetanu

Tablica 1

Skład ziarnowy i chemiczny rudy kubańskiej kierowanej do wzbogacania w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawieszinową

Klasa mm	Wychód %	Zawartość SiO ₂ %	Zawartość Cr ₂ O ₃ %
4,5-3	49,0	6,44	36,39
3-2	14,2	8,04	34,11
2-1	21,0	7,68	33,75
1-0,5	15,8	7,40	35,21
	100,0	$\alpha = 7,08$	$\alpha = 35,32$

Tablica 2

Skład ziarnowy i chemiczny rudy albańskiej kierowanej do wzbogacania w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawieszinową

Klasa mm	Wychód %	Zawartość SiO ₂ %	Zawartość Cr ₂ O ₃ %
4,5-3	34,4	14,60	36,60
3-2	13,1	14,40	36,67
2-1	26,0	13,12	38,37
1-0,5	26,5	10,64	42,13
	100,0	$\alpha = 13,14$	$\alpha = 38,53$

Tablica 3

Skład ziarnowy i chemiczny rudy radsieckiej kierowanej do wzbogacania w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawieszinową

Klasa mm	Wychód %	Zawartość SiO ₂ %	Zawartość Cr ₂ O ₃ %
4,5-3	19,5	6,16	53,73
3-2	33,4	5,16	56,06
2-1	27,0	5,40	56,18
1-0,5	20,1	5,36	56,06
	100,0	$\alpha = 5,46$	$\alpha = 55,64$

Tablica 4

Wyniki rozdziału rudy kubańskiej w olejach ciężkich jednorodnych

Frakcja G/cm ³	Wychód frakcji %	Zawartość SiO ₂ %	Zawartość Cr ₂ O ₃ %
- 2,7	4,3	37,08	1,05
2,7 - 2,98	1,1	34,52	3,50
+ 2,98	94,6	4,92	37,41
	100,0	$\alpha = 6,63$	$\alpha = 35,47$

Tablica 5

Wyniki rozdziału rudy albańskiej w olejach ciężkich jednorodnych

Frakcja G/cm ³	Wychód frakcji %	Zawartość SiO ₂ %	Zawartość Cr ₂ O ₃ %
- 2,7	6,6	37,96	3,17
2,7 - 2,98	5,3	36,88	3,10
+ 2,98	88,1	8,96	47,90
	100,0	$\alpha = 12,71$	$\alpha = 38,98$

Tablica 6

Wyniki rozdziału rudy radzieckiej w olejach ciężkich jednorodnych

Frakcja G/cm ³	Wychód frakcji %	Zawartość SiO ₂ %	Zawartość Cr ₂ O ₃ %
- 2,7	4,3	31,90	2,45
2,7 - 2,98	1,4	12,30	5,67
+ 2,98	94,3	3,84	57,88
	100,0	$\alpha = 5,17$	$\alpha = 54,87$

celem ustalenia optymalnego ciężaru właściwego rozdziału w hydrocyklonie z oleją ciężką zawieszinową. Rozdział prowadzono w olejach o ciężarach właściwych 2,7 i 2,98 G/cm³. Wyniki przeprowadzonych analiz w olejach ciężkich jednorodnych wraz z oznaczeniami zawartości SiO₂ i Cr₂O₃ dla poszczególnych próbek podano w tablicach 4, 5 i 6.

Z analiz chemicznych frakcji o ciężarach właściwych powyżej 2,98 G/cm³ widać, że poszczególne rudy w tych frakcjach wykazują wyraźne różnicowanie zawartości SiO₂ (kubańska - 4,92%, albańska - 8,96%, radziecka -

3,84%). Stwierdzono, że w próbkach użytych do doświadczeń stopień uwolnienia krzemionki jest niedostateczny utrudniając uzyskanie koncentratów o bardzo niskiej zawartości SiO_2 . W celu maksymalnego uwolnienia krzemionki w wyżej wymienionych rudach należałoby odpowiednio obniżyć górną granicę wielkości ziarn w próbach.

Potwierdzeniem tego wniosku są wyniki pracy [2], w której stwierdzono, że najkorzystniejszą granicą rozdrobnienia dla tych rud, przy której nie następuje przemielanie spineli chromowych i krzemianów jest 0,5-1 mm dla rudy albańskiej i kubańskiej oraz 0,5 mm dla rudy radzieckiej. Identyczne stwierdzenia zawiera praca J. Polaacka [3]. Analizy na zawartość Cr_2O_3 we frakcjach powyżej 2,98 G/cm^3 wykazały duże różnice dla poszczególnych rud (kubańska - 37,41%, albańska - 47,90%, radziecka - 57,88%). Frakcje o ciężarach właściwych poniżej 2,98 G/cm^3 charakteryzują się bardzo wysoką zawartością SiO_2 i niską zawartością Cr_2O_3 .

Wytworzony w hydrocyklonie ciężar właściwy cieczy zawiesinowej zależy od charakterystyki cyklonu (głównie wielkości kąta stożkowego i stosunku średnio wylewowej i przelewowej) oraz od własności cieczy ciężkiej. Wartość tego ciężaru może być znacznie większa od ciężaru cieczy podawanej do hydrocyklonu. Badacze radzieccy [4] podają, że różnica w ciężarze właściwym cieczy jednorodnej i cieczy zawiesinowej w hydrocyklonie dla otrzymania równorzędnych wyników rozdziału wynosi około 0,5 G/cm^3 .

W celu wydzielenia krzemionki z badanych prób jak wykazano wyżej ciężar właściwy rozdziału powinien być wyższy od 3,0 G/cm^3 , a więc należy zastosować ciecz wlotową do hydrocyklonu o ciężarze właściwym mniejszym o około 0,5 G/cm^3 tj. powyżej 2,5 G/cm^3 .

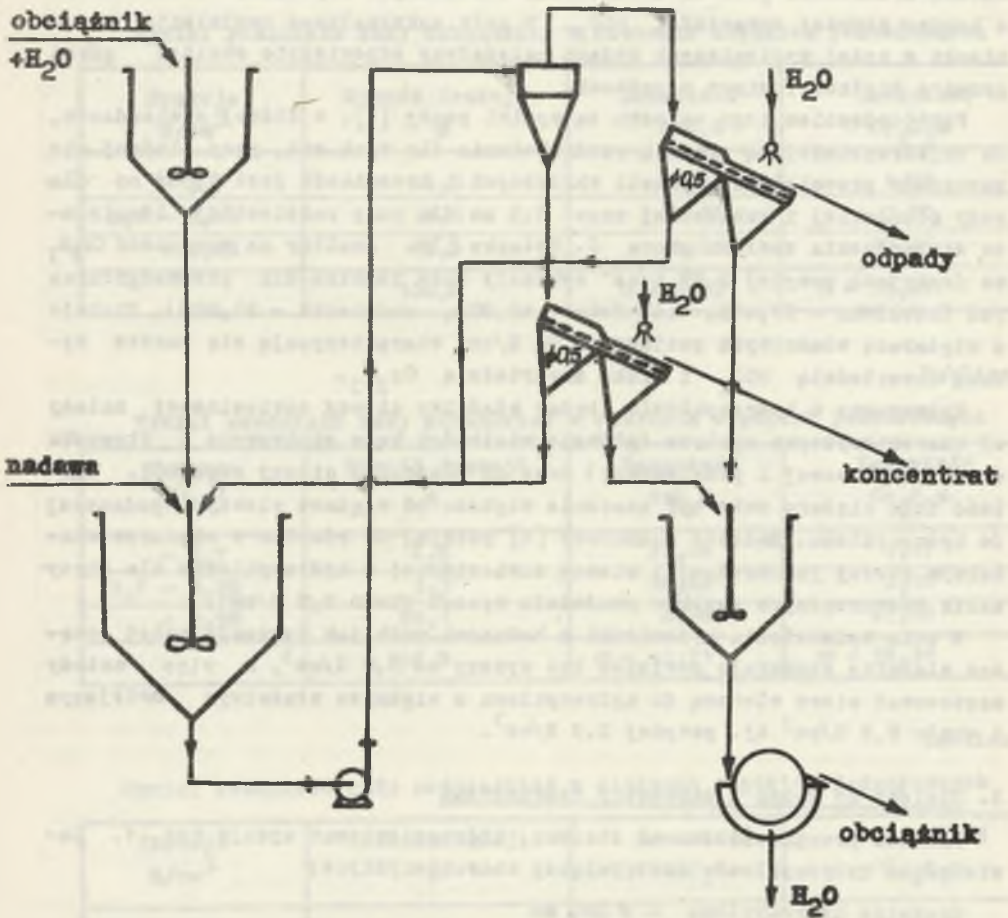
3. Stoisko do badań i parametry doświadczeń

Badania przeprowadzono na stoisku, którego schemat ujmuje rys. 1. Zastosowano hydrocyklon o następującej charakterystyce:

średnica hydrocyklonu	-	∅ 200 mm
średnica wlotu	-	∅ 30 mm
średnica przelewu	-	∅ 35 mm
średnica wylewu	-	∅ 25, 30, 35 mm
kąt zbieżności stożka	-	∅ 20°.

Wzbogacanie prowadzono przy ciśnieniu nadany na hydrocyklon 0,3 i 0,4 atm.

Obciążnikiem cieczy zawiesinowej był żelazokrzem z 30%-owym dodatkiem magnetytu. Ciężary właściwe użytych cieczy zawiesinowych wynosiły 2,50, 2,62 i 2,70 G/cm^3 . Przy takich ciężarach właściwych cieczy w hydrocyklonie uzyskano ciężary właściwe rozdziałów 3,10, 3,26, 3,35, 3,62 G/cm^3 . Lepkość cieczy zawiesinowej wahała się w granicach 1,4-1,5⁰B.



Rys. 1. Schemat stoiska do wzbogacania w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawiesinową

4. Wyniki i omówienie przeprowadzonych badań

Wyniki wzbogacania badanych rud chromitowych w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawiesinową podano w tablicach 7, 8 i 9.

Z przeprowadzonej serii doświadczeń dla rudy kubańskiej (tablica 7) widzimy, że najkorzystniejszy rozdział zachodzi przy ciężarze właściwym cieczy wlotowej równym $2,7 \text{ G/cm}^3$, (ciśnienie $0,3 \text{ atm}$), przy czym ciężar właściwy rozdziału wynosi $3,62 \text{ G/cm}^3$, a uzyskane produkty zawierają: w wylewie $4,78\% \text{ SiO}_2$ i $35,09\% \text{ Cr}_2\text{O}_3$; w przelewie $12,92\% \text{ SiO}_2$ i $34,82\% \text{ Cr}_2\text{O}_3$. Uzysk Cr_2O_3 w wylewie wynosi $76,2\%$. Zawartość SiO_2 w stosunku do nadawy obniżyła się o około 2% .

W przypadku rudy albańskiej (tablica 8) uzyskano produkty wyraźnie gorszej jakości, co związane jest z większą trudnością wzbogacania wynikającą z bardzo niewielkiego uwolnienia spineli chromowych. Najlepszy rezultat otrzymano wzbogacając w cieczy o ciężarze właściwym $2,50 \text{ G/cm}^3$ i ciśnieniu $0,4 \text{ atm}$ /ciężar właściwy wylewu $3,10 \text{ G/cm}^3$, przelewu $2,22 \text{ G/cm}^3$. Wylew zawierał $8,22\% \text{ SiO}_2$ i $46,18\% \text{ Cr}_2\text{O}_3$. Spadek zawartości krzemionki w stosunku do nadawy wynosi $4,32\%$. Uzysk Cr_2O_3 w wylewie wynosi $92,7\%$.

Jakość produktów uzyskanych z próbki rudy radzieckiej zasadniczo różni się od poprzednich, przy czym najlepsze rezultaty uzyskano dla ciężaru właściwego cieczy wlotowej $2,70 \text{ G/cm}^3$ przy ciśnieniu $0,3 \text{ atm}$ /ciężar właściwy wylewu $3,35 \text{ G/cm}^3$, przelewu $2,33 \text{ G/cm}^3$. Wylew zawierał $3,92\% \text{ SiO}_2$ i $59,56\% \text{ Cr}_2\text{O}_3$, a przelew $19,70\% \text{ SiO}_2$ i $25,59\% \text{ Cr}_2\text{O}_3$. Spadek zawartości krzemionki w stosunku do nadawy wynosi $1,62\%$. Uzysk Cr_2O_3 w wylewie wynosi $95,3\%$.

Tabela 7

Wyniki wzbogacania rudy kubańskiej w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawieszoną

O.wz. oleosy G/cm ³	Ciśnienie atm	Produkt	O.wz. oleosy G/cm ³		Ø dysz mm	Wychód %	Zawartość		Usytek Cr ₂ O ₃ %
			Przebieg	Wylow			SIO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	
2,50	0,4	wylow	3,10		55	81,1	5,42	38,29	87,2
		przebieg	2,22		33	18,9	13,60	29,49	12,8
						100,0	α = 6,97	α = 35,62	100,0
2,62	0,4	wylow	3,26		35	92,5	5,62	37,62	96,7
		przebieg	2,32		35	7,5	21,54	16,18	3,3
						100,0	α = 6,81	α = 35,96	100,0
2,70	0,3	wylow	3,35		30	98,0	6,96	36,98	99,0
		przebieg	2,33		35	2,0	21,90	17,47	1,0
						100,0	α = 7,23	α = 35,59	100,0
2,70	0,3	wylow	3,62		25	76,0	4,78	35,09	76,2
		przebieg	2,34		35	24,0	12,92	34,82	23,8
						100,0	α = 6,75	α = 35,01	100,0

Tabela 8

Wyniki wzbogacania rudy sibańskiej w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawiesinową

C.m.z. cieczy g/cm ³	Ciśnienie atm	Produkt	C.m.z. cieczy g/cm ³	φ dysz mm	Wychód %	Zawartość SiO ₂ %	Zawartość Cr ₂ O ₃ %	Usytek %
2,50	0,4	wylew	3,10	35	79,1	8,22	46,18	92,7
		przelew	2,22	35	20,9	28,86	13,63	7,3
2,62	0,4	wylew	3,26	35	90,1	9,80	43,12	98,2
		przelew	2,32	35	9,9	36,82	8,12	1,8
2,70	0,3	wylew	3,35	30	91,6	9,92	42,09	96,8
		przelew	2,33	35	8,4	35,88	14,21	3,2
2,70	0,3	wylew	3,62	25	66,4	11,26	45,71	76,1
		przelew	2,34	35	33,6	17,21	26,03	23,9
					100,0	α = 12,93	α = 38,59	100,0
					100,0	α = 12,21	α = 39,55	100,0
					100,0	α = 12,10	α = 39,72	100,0

Tablica 9

Wyniki wzbogacania rudy rdzawej w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawieszinową

C. wż. cieczy g/cm ³	Ciśnienie atm	Produkt	C. wż. cieczy g/cm ³	φ dysz mm	Wychód %	Zawartość SiO ₂ %	Zawartość Cr ₂ O ₃ %	Udysek %
2,50	0,4	wylew przelew	3,10	35	76,7	4,32	58,38	81,6
			2,22	35	23,3	9,50	43,25	18,4
					100,0	α = 5,48	α = 54,86	100,0
2,62	0,4	wylew przelew	3,26	35	91,8	3,96	59,04	96,7
			2,32	35	8,2	20,59	22,48	3,3
					100,0	α = 5,32	α = 56,04	100,0
2,70	0,3	wylew przelew	3,35	30	89,7	3,92	59,56	95,3
			2,33	35	10,3	19,70	25,59	4,7
					100,0	α = 5,54	α = 56,06	100,0
2,70	0,3	wylew przelew	3,62	25	66,6	4,66	57,77	69,6
			2,34	35	33,4	8,40	50,21	30,4
					100,0	α = 5,90	α = 55,25	100,0

5. Wnioski

Przeprowadzone doświadczenia wykazały, że metoda wzbogacania w hydrocyklonie z cieczą ciężką zawiesinową pozwala uzyskać produkt o dostatecznie niskiej zawartości SiO_2 (poniżej 4%) jedynie w przypadku chromitowej rudy radzieckiej, która była najbogatszą spośród badanych.

Wyraźnie gorsze rezultaty wzbogacania w przypadku rudy kubańskiej i albańskiej spowodowane są niedostatecznym uwolnieniem spineli chromowych w procesie rozdrabniania przy górnej granicy wielkości ciara 4,5 mm.

Najlepsze wyniki z porównywalnych ocen doświadczeń dla badanych rud są zbliżone do wyników rozdzielu w cieczy ciężkiej jednorodnej (frekwoja $+2,98 \text{ g/cm}^3$), co świadczy o prawidłowym przebiegu separacji w hydrocyklonie.

Należy podkreślić, że uzyskanie cięższych zawartości SiO_2 w produktach wzbogacania w hydrocyklonie byłoby możliwe w przypadku dokładniejszego uwolnienia spineli chromowych i krzemiecki poprzez rozdrabnianie do granicy uziarnienia niższej od 4,5 mm.

LITERATURA

- [1] Gulde Z.: Zagadnienie rud chromitowych w świetle potrzeb przemysłu materiałów ogniotrwałych - materiały z konferencji IPMO, Gliwice 1968
- [2] Lastowski J., Lupa S., Imra J.: Wzbogacalność rud chromitowych na stożkach koncentracyjnych i powietrznych, praca nie opublikowana do wglądu z archiwum Katedry FMK Politechniki Śląskiej.
- [3] Palneck J.: Vysukm upravitelnosti khromove rudy s Kuby na sasetchach a otvashnykh splavach, Rudy t. 13, nr 4, 1965.
- [4] Jevsiovic S.G., Kosol G.M.: Obogascenie mal'koj železnoj rudy s trikh-produktaom gidrociklona s promacheniem tiazelayah suspenzji, Obogascenie rud, nr 4, 1960.

ОБОГАЩЕНИЕ ХРОМИТОВЫХ РУД В ТЯЖЕЛОЙ СУСПЕНЗИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОЦИКЛОНОВ

Р а з н о

В статье представлены результаты обогащения хромитовых руд: албацкой, кубанской и советской в гидроциклоне с тяжелой суспензией крупностью 4,5-0 мм). В исследованиях применяли гидроциклон диаметром 200 мм а суспензией ферросилиция с добавкой магнетита. Доказано, что полученные результаты обо

гащения оптимальны - приближены к результатам раздела в тяжелых жидкостях а также установлено, что нельзя получить более чистых концентратов из-за недостаточного освобождения хромитовых зерен в процессе дробления при сохранении выше указанного предела крупности зёрен.

PROCESSING OF CHROMIUM ORES IN HEAVY MEDIA CYCLOID

S u m m a r y

The results of dressing of chromium ores (size fraction $-4,5 + 0,5$ mm) from Albania, Cuba and USSR have been shown. The cycloid used had 200 mm in diameter. The ferro-silicon suspension with addition of magnetite was applied. It has been proved that the results obtained was at optimum and similar to those from float - and - sink analysis. Working with such a size fraction makes better separation impossible because of poor liberation of chromium spinel grains.