ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: GÓRNICTWO z. 190 Nr kol. 1088

Marian BROŻEK[x)]
Karol NOWAKOWSKI[x)]
Władysław PILCH[x)]
Antoni SIWIEC[x)]
Antoni CIEŚLA[xx)]

SEPARACJA MAGNETOGRAWIMETRYCZNA (MGM) JAKO NOWA METODA WZBOGACANIA

Streszczenie. W pracy przedstawiono fizyczne podstawy separacji MGM oraz zasady przygotowania nadawy do separacji. Wskazano na zastosowania tej metody głównie do rozdziału złomów metali kolorowych. Przytoczono warunki separacji złomu kabli elektrotechnicznych, pozwalające na otrzymania produktu aluminiowego i ołowiowego przydatnych do procesu hutniczego.

1. FIZYCZNE PODSTAWY SEPARACJI MGM

Mianem separacji magnetograwimetrycznej (MGM) określa się w literaturze separację w cieczy ferromagnetycznej, umieszczonej w niejednorodnym polu magnetycznym [1, 2, 3]. W tych warunkach na jednostkę objętości cieczy działa siła magnetyczna wyrażona następującym wzorem:

$$\vec{f} = \frac{1}{2}\mu_0\varkappa_0 \operatorname{grad} \vec{H}, \tag{1}$$

gdzie:

μ_0 - przenikalność magnetyczna próżni,

$\varkappa_0$ - podatność magnetyczna cieczy,

$\vec{H}$ - natężenie pola magnetycznego.

Jeżeli siła magnetyczna jest skierowana pionowo w dół, wówczas otrzymuje się ciecz o efektywnym ciężarze właściwym:

$$\gamma = \rho_0 g + |\vec{f}|, \tag{2}$$

x) Instytut Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych Akademia Górniczo-Hutnicza - Kraków.

xx) Instytut Elektroenergetyki - Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków.
Artykuł napisany na podstawie pracy CPBP 03.07.05.06.

gdzie:

ρ_o - gęstość cieczy,

g - przyspieszenie ziemskie.

Ciężar właściwy cieczy jest uzależniony od własności fizycznych cieczy, to jest gęstości i podatności magnetycznej oraz od geometrii pola magnetycznego. Ciężar właściwy nie jest jednakowy w całej objętości cieczy, gdyż siła magnetyczna zmienia się wzdłuż osi pionowej. Rozkład pola magnetycznego w przestrzeni roboczej separatora wyznacza się, rozwiązując równanie Laplace'a. W przypadku nabiegunników w kształcie klina, rozkład pola magnetycznego jest następujący:

$$H(z) = \frac{H_o h}{h + z}, \tag{3}$$

gdzie:

H_o - natężenie pola magnetycznego na dnie szczeliny roboczej,

h - odległość mierzona od wierzchołka klina do dna szczeliny roboczej.

Wobec zależności (1)-(3) efektywny ciężar właściwy cieczy jest równy:

$$\gamma = \rho_o g + \frac{\mu_o \chi_o H_o'^2 h^2}{(h + z)^3} = \rho_o g + \mu_o M(H) \frac{H_o h}{(h + z)^2} \tag{4}$$

Wysoki ciężar właściwy cieczy, na danym poziomie "z", można uzyskać bądź przez odpowiednio wysoką wartość natężenia pola magnetycznego H_o, bądź przez zastosowanie cieczy o dużej wartości podatności magnetycznej χ_o, czy namagnesowania M. W separacji MGM ma zastosowanie ta druga możliwość. Jako medium rozdzielające stosuje się ciecz ferromagnetyczną, której namagnesowanie w zależności od koncentracji objętościowej koloidu ferromagnetycznego osiąga wartości rzędu kilkuset gausów (1-5) x 10^{-4} T [4].Przy zastosowaniu tego rodzaju cieczy w polu magnetycznym o indukcji rzędu 1 T osiąga się ciężary właściwe cieczy do 20 MG/m^3. Jak więc z powyższego wynika, tego rodzaju separacja może znaleźć zastosowanie głównie do rozdziału złomów metali kolorowych, gdzie wymagane są wysokie wartości ciężaru właściwego rozdziału. W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki rozdziału złomu metali kolorowych oraz związane z tym czynności przygotowania nadawy do separacji.

2. PRZYGOTOWANIE NADAWY DO SEPARACJI MGM

Względny przyrost ciężaru właściwego cieczy ferromagnetycznej w stosunku do ciężaru właściwego składników nadawy jest zależny od różnicy po-

datności magnetycznej cieczy i tych składników. Im ta różnica jest większa, tym ten przyrost jest większy. W krańcowym przypadku, gdy różnica jest równa zero, ciężar właściwy cieczy ferromagnetycznej, "odczuwany" przez ten składnik, jest równy ciężarowi grawitacyjnemu. Z tego względu należy z nadawy wyeliminować wszystkie ziarna o podatności magnetycznej, zbliżonej do podatności cieczy, czyli ziarna ferromagnetyczne i silnie paramagnetyczne. W związku z tym, próbkę przed separacją MGM należy poddać separacji magnetycznej niskogradientowej i wysokogradientowej. Po tej operacji w nadawie pozostają w zasadzie ziarna diamagnetyczne i słabomagnetyczne. W tej sytuacji rozdział w separatorze MGM zachodzi na podstawie różnicy ciężarów właściwych ziarn.

Drugą operację przygotowawczą jest odsiania z nadawy ziarn najdrobniejszych. W zależności od rodzaju złomu, są to ziarna -0,5, -1 mm a nawet większe. Operacja ta jest spowodowana tym, że w określonych warunkach fizykochemicznych powierzchnia metali selektywnie pokrywa się cienkim filmem koloidu ferromagnetycznego, przez co ziarno jako całość uzyskuje własności magnetyczne [5]. Podatność magnetyczna ziarna jest zależna od stosunku objętości ziarna do jego powierzchni. Gdy ten stosunek jest duży (ziarna duże i kuliste), wówczas przyrost podatności magnetycznej jest nieduży (pomijalnie mały). Natomiast gdy ten stosunek jest mały (ziarna drobne, płaskie o kształtach wydłużonych), wówczas przyrost podatności magnetycznej ziarna jest znaczny, przez co ziarno jako całość staje się silnie-magnetyczne. W tej sytuacji ziarno, niezależnie od jego ciężaru właściwego trafi do produktu tonącego, pogarszając jakość tego produktu. Z tego powodu nadawa do separacji MGM musi być pozbawiona tych ziarn.

3. OPIS STANOWISKA DOŚWIADCZALNEGO

Stanowisko badawcze składa się z dwóch głównych elementów: zasilacza i elektromagnesu. Nabiegunniki elektromag. mają kształt klina. Kąt zbieżności klina wynosi 30°. Odległość między nabiegunnikami klinowymi w górnej części wynosi 100 mm a w dolnej 20 mm. Między klinowo wykształconymi nabiegunnikami elektromagnesu umieszczony jest pojemnik z blachy aluminiowej. Pojemnik ten wypełnia się cieczą ferromagnetyczną. Produkty separacji odprowadzane są boczymi lejkami. Ze względu na to, że ciężar właściwy rozdziału zmienia się wzdłuż osi pionowej, ciężar właściwy produktów rozdziału, a zarazem ich skład chemiczny zależą od tego, z jakiego poziomu rozdziału (lejka) są zbierane. Nadawa podawana jest specjalnym podajnikiem drgającym na górny poziom cieczy. Produkty pływający i pośredni odprowadzane są lejkami bocznymi, natomiast produkt tonący odbierany jest do naczynia umieszczonego pod pojemnikiem.

4. PRZYKŁAD ROZDZIAŁU ZŁOMU METALI KOLOROWYCH

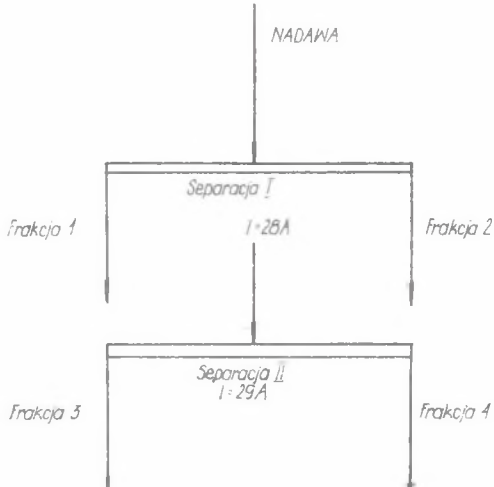
Materiał próbki użytej do badań stanowi surowiec polimetaliczny otrzymany po wstępnym przerobie złomu kabli w otulinie z płaszcza Pb. Można w nim wyodrębnić okruchy miedziane, fragmenty drutów miedzianych, ołowiu i aluminium. W przypadku tego złomu nie stwierdzono cząstek magnetycznych, co pozwoliło uniknąć operacji wzbogacania magnetycznego przed separacją MGM.

W tabeli 1 podano pełną analizę sitową materiału użytego do badań [5].

Tabela 1

Skład ziarnowy i chemiczny złomu

Klasa mm	Wychód %	Zawartość, %			Uzysk, %		
		Pb	Cu	Al	Pb	Cu	Al
+4	12,1	57,55	22,60	19,85	13,71	7,50	18,32
4-3,15	19,8	64,30	18,96	16,74	25,06	10,29	25,28
3,15-2	47,8	41,78	44,19	14,03	39,30	57,90	51,15
2-1	16,1	47,70	48,26	4,04	15,11	21,30	4,36
1-0,5	3,4	70,66	28,40	0,94	4,73	2,65	0,24
-0,5	1,2	88,87	10,70	0,43	2,10	0,35	0,04
	100,0	50,81	36,48	13,11	100,0	100,0	100,0

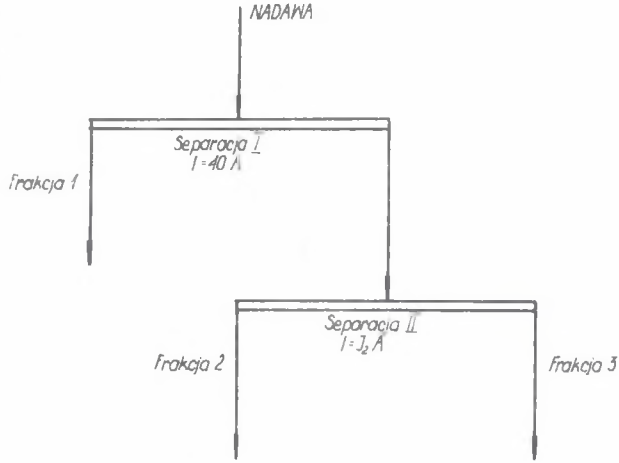


Rys. 1. Schemat separacji trójproduktowej

Fig. 1. Scheme of the three-product separation

Jak można zauważyć, odsiewanie klasy -1 mm z próby wyjściowej nie powoduje istotniejszych strat metali (ołowiu 6,83%, miedzi 3,00% i aluminium 0,28%), natomiast w sposób zdecydowany wpływa na zwiększenie ostrości rozdziału oraz zmniejszenie strat cieczy ferromagnetycznej.

Eksperyment separacji MGM złomu przeprowadzono stosując różne wartości prądu magnesującego oraz różne schematy separacji. Na rys. 1 i 2 przedstawiono stosowane schematy separacji MGM. Separacja przeprowadzona według schematu z rys. 1 jest separacją trójproduktową, przy czym separację II wykonano dla prądu



Rys. 2. Schemat separacji czteroproduktowej
Fig. 2. Scheme of the four-product separation

magnesującego 34 A, 30 A i 29 A. Są to zatem trzy odrębne separacje. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń przedstawiono w tabelach 2-5.

Tabela 2

Wyniki separacji trójproduktowej I_2 = 34 A

Frakcja	Wychód %	Zawartość, %			Uzysk %
		Pb	Cu	Al	
1	9,08	-	-	100	100 (Al)
2	46,78	35,58	64,42	-	74,63 (Cu)
3	44,14	76,81	23,19	-	67,08 (Pb)
	100,00	50,54	40,38	9,8	

Tabela 3

Wyniki separacji trójproduktowej I_2 = 30 A

Frakcja	Wychód %	Zawartość, %			Uzysk %
		Pb	Cu	Al	
1	10,84	-	-	100	100 (Al)
2	59,13	46,40	53,60	-	85,75 (Cu)
3	30,03	82,45	17,55	-	47,43 (Pb)
	100,00	52,20	36,96	10,84	

Tabela 4

Wyniki separacji trójproduktowej I_2 = 29 A

Frakcja	Wychód %	Zawartość, %			Uzysk %
		Pb	Cu	Al	
1	9,94	-	-	100	100 (Al)
2	38,07	18,83	81,17	-	88,70 (Al)
3	51,99	92,42	7,58	-	87,01 (Pb)
	100,00	55,22	34,84	9,94	

Tabela 5

Wyniki separacji czteroproduktowej

Frakcja	Wychód %	Zawartość, %			Uzysk %
		Pb	Cu	Al	
1	12,06	-	-	100	100 (Al)
2	27,78	24,91	75,09	-	55,85 (Cu)
3	38,89	58,00	42,00	-	44,59 (Pb)
4	21,27	99,24	0,76	-	41,72 (Pb)
	100,00	50,59	37,35	12,06	

Jak wynika z danych przytoczonych w tabelach 2-4 nastąpiło wyraźne wzbogacanie poszczególnych frakcji w odpowiednie metale. Uzyskano idealne odseparowanie aluminium, tworzącego frakcję pływającą w pierwszym stadium separacji. Frakcja Pb i Cu, aczkolwiek istotnie wzbogacone, nie nadają się w tej postaci, jako produkt handlowy dla przetwórstwa metalurgicznego. Normy jakościowe, uwzględniające poziomy dopuszczalnych wzajemnych zanieczyszczeń (ołów miedzią i miedź ołowiem) są bardzo rygorystyczne i według nich, uzyskane w tych separacjach frakcje są nie do przyjęcia.

Jak wskazują dane z tabel 2-4 z obniżaniem się wartości prądu magnesującego w drugim stadium poprawia się jakość frakcji Pb i Cu. W związku z tym zmodyfikowano schemat separacji (rys. 2), w którym w pierwszym stadium wydzielano aluminium (w górnym kanale) oraz frakcję bogatą w miedź w środkowym kanale). Produkt tonący tego stadium rozdzielono w drugiej separacji. Wyniki tego eksperymentu podaje tabela 5. Jak wynika z tych danych uzyskane produkty separacji mają wysoką jakość a dwa z nich (pierwszy i czwarty) nadają się bezpośrednio do procesów hutniczych.

LITERATURA

[1] Khalafalla S.E., Reimers G.N.: Magnetograwimetric separation of non-magnetic solid - Trans, SME - AIME, 254, 193 (1973).

[2] Kaiser R.: Method of separating materials of different density - US Patent 1969, no 3 483 968.

[3] Reimers G.W., Khalafalla S.E.: Preparing magnetic fluids by a peptizing method - Bureau of Mines Report of Investigations, nr 59, 1972.

[4] Pearsonage P.: Selective magnetic coating for mineral separation - Trans. IMM sec. C., 93, 37 (1984).

[5] Siwiec A., Pilch W., Brożek M., Nowakowski K.: Badania nad rozdziałem złomów metali kolorowych i stopów w cieczach ferromagnetycznych. Sprawozdanie z pracy nr CPBP 03.07.05.06/89, Biblioteka IPiWSM AGH, Kraków 1989.

МАГНИТОГРАВИМЕТРИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ (МГМ)
КАК НОВАЯ МЕТОДА ОБОГАЩЕНИЯ

Р е з ю м е

В работе представлено физические основы сепарации МГМ а также правила подготовления исходного материала к сепарации. Указано на применение этого метода прежде всего для разделения скрапов цветных металлов. Представлено условия сепарации лома электротехнических кабелей, разрешающие получить алюминевый и свинцовый продукт, полезный для металлургического процесса.

MAGNETOGRAVIMETRIC SEPARATION (MGM)
AS NEW METHOD OF BENEFICIATION

S u m m a r y

In the paper physical aspects of MGM separation, as well as, methods of preparation of the feed to separation are discussed. Applying of this method mainly to beneficiation of coloured metals scrap has been proposed. The conditions of separation havebeen performed. Under this conditions the final products of copper and aluminium of high purity have been received.