

Janusz BARAN
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

PRÓBY ROZDZIAŁU MIEDZI I IZOLACJI Z ROZDROBNIONYCH KABLI ENERGETYCZNYCH NA POKŁADZIE O DRGANIACH PROSTOLINIOWYCH

Streszczenie. Przeprowadzono rozdział drobnych drucików miedzianych od tworzywa sztucznego izolacji z rozdrobnionych kawałków kabla o maksymalnym wymiarze 4 mm. Rozdziału dokonano na przenośniku wibracyjnym z napędem mimośrodowym.

AN ATTEMPT TO SEPARATE COPPER AND INSULATION FROM SHREDDED POWER CABLES BY USING A LINEAR VIBRATING DECK

Summary. The separation of small copper wires from plastic insulation after crumbling of waste energetic cables has been done. The separation was performed with the vibrating conveyor with eccentric drive.

1. Wprowadzenie

Urządzenia stosowane w rozwijającym się coraz bardziej przemyśle utylizacji odpadów i surowców wtórnych często budowane są z wykorzystaniem zasad stosowanych w przeróbce surowców mineralnych.

W procesach, takich jak rozdrabnianie czy klasyfikacja według wielkości ziarn, wykorzystywane są przesiewacze czy kruszarki o konstrukcji stosowanej w przeróbce kopalin mineralnych. W procesach wzbogacania, gdzie należy oddzielić materiał użyteczny od odpadu, stosuje się urządzenia wykorzystujące pewne własności ziarn nadawy. Jedną z metod wzbogacania wykorzystuje różnicę współczynników tarcia ziarn składającego się na materiał przeznaczony do rozdziału [3]. Urządzeniem najprostszym służącym do wzbogacania z wykorzystaniem różnicy współczynnika tarcia o powierzchnię roboczą jest równia pochyla z odpowiednio rozmieszczonymi kieszeniami odbierającymi. Zsuwające się ziarna o różnym współczynniku tarcia względem podłoża nabierają różnej prędkości, w konsekwencji wpadają w kieszeń położoną bliżej lub dalej od dolnej krawędzi równi.

Stosowany dość często wzbogacalnik zwojowy również wykorzystuje różnicę współczynników tarcia ziarn nadawy do ich rozdziału. Wykonany jest w formie spiralnie zwiniętego koryta. Zsuwające się ziarna o niższym współczynniku tarcia względem podłoża nabierają dużej prędkości i działająca na nie siła odśrodkowa powoduje, że przemieszczają się do zewnętrznej części koryta i tam są odbierane. Ziarna o wyższym współczynniku tarcia poruszają się z mniejszą prędkością, trasa ich ruchu położona jest bliżej środka koryta.

Ponieważ wielkość tarcia zależy od wielkości ziarn, stosowanie obu wspomnianych powyżej urządzeń wymaga rozdzielania nadawy na wąskie klasy ziarnowe.

Osobną grupę urządzeń używanych do rozdziału materiałów drobnoziarnistych, takich jak np. materiały ściernicze, stanowią tarciove wzbogacalniki vibracyjne.

Plaszczyzną roboczą jest pochylona pod niewielkim kątem podparta sprężystą płytą wprawiana w drgania najczęściej dwumasowym wibratorem bezwładnościowym. Amplituda drgań jest rzędu 1÷2 [mm], a częstość drgań zbliżona do 50 [Hz]. Nadawa podawana jest na płytę drgającą w pobliżu jej środka. Ziarna o niskim współczynniku tarcia poruszają się w kierunku dolnej krawędzi, ziarna o wysokim współczynniku tarcia, a więc mocniejszym sprzężeniu ciernym z podłożem, skutkiem działania na nie siły bezwładności pochodzącej od drgań poruszają się ku górnej krawędzi.

Przedstawione w dalszej części niniejszej pracy próby rozdziału są kontynuacją pracy, w której do rozdziału materiału otrzymanego po rozdrobieniu kabli elektrycznych użyto przesiewacza typu WK (nadrezonansowy, z jednomasowym wibratorem bezwładnościowym). W przesiewaczu tym w miejscu sit zamontowano pokłady o różnych rodzajach powierzchni – guma, twarda płyta pilśniowa [2]. Trajektoria drgań pokładu roboczego, na której następował rozdział, miała kształt kołowy. Kolejnym etapem były próby rozdziału tego samego materiału, czyli mieszaniny pociętych drobno drutów miedzianych i izolacji igielitowej, na której powierzchni roboczej trajektoria drgań jest prostoliniowa.

Celem prób było stwierdzenie, czy rozdział przy drganiach o trajektorii prostoliniowej będzie bardziej skuteczny niż przy trajektorii kołowej.

2. Badania rozdziału ziarn miedzi i izolacji

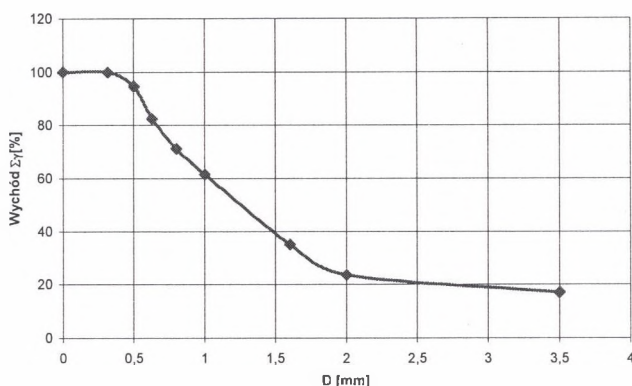
2.1. Materiał użyty do prób rozdziału

Do badań użyto tego samego materiału, jaki wykorzystywany był w próbach odzysku miedzi z wykorzystaniem pokładu o drganiach prostoliniowych [2]. Materiał surowy był mieszaniną ziarn, które powstały po mechanicznym rozdrobieniu kabla miedzianego. Maksymalny wymiar ziarn wynosił 4 [mm].

Na rys. 1 przedstawiono krzywą składu ziarnowego mieszaniny miedzi i izolacji.

W tabeli 1 przedstawione są gęstości usypowe poszczególnych klas ziarnowych. Ponadto po oddzieleniu (ręcznym) ziarn i izolacji określono procentowy udział miedzi dla wyodrębnionych klas ziarnowych.

Gęstość usypowa mieszaniny miedzi i izolacji wynosiła $\rho=1230 \text{ kg/m}^3$.



Rys. 1. Krzywa składu ziarnowego materiału użytego do próby
 Fig. 1. The grain distribution curve of the material used for the test

Tabela 1

Gęstość usypowa i udział drucików miedzianych w poszczególnych klasach ziarnowych

Lp.	Klasa ziarnowa [mm]	Udział miedzi w klasie ziarnowej [%]	Gęstość usypowa ρ [g/cm ³]
1	>2	0	0,65
2	1,6÷2,0	10	0,97
3	1,0÷1,6	30	1,12
4	0,8÷1,0	68	1,45
5	0,63÷0,8	85	2,18
6	0,5÷0,63	95	2,54
7	0,315÷0,5	100	2,75
8	0÷0,315	Drobne zanieczyszczenia	-

Wykonano pomiary współczynnika tarcia drucików miedzianych i ziarn izolacji z pokładem wykonanym z różnych materiałów: płyty pilśniowej twardej, linoleum z PCW, blachy stalowej, deski sosnowej szlifowanej i płyty gumowej [2].

Poniżej podano współczynniki tarcia ziarn miedzi i izolacji o powierzchni z płyty pilśniowej i gumy – czyli tych materiałów pokładu roboczego, których użyto w opisywanych badaniach:

Płyta pilśniowa – druciki miedziane $\mu=0,76$

Płyta pilśniowa – ziarna izolacji $\mu=0,42$

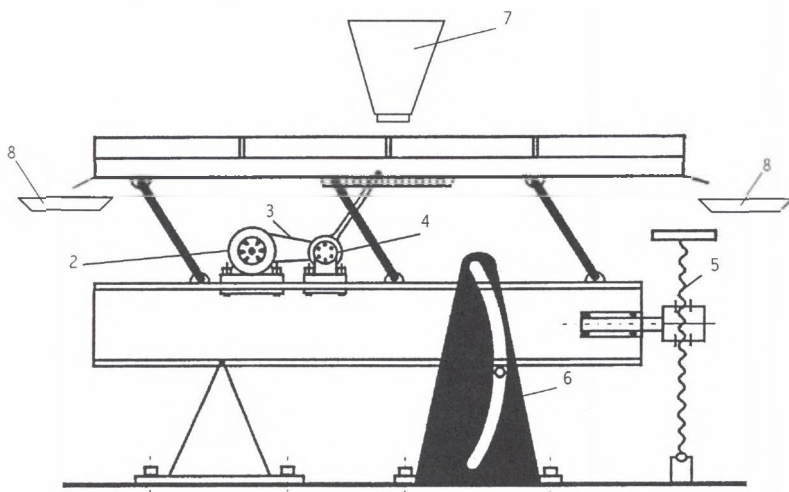
Płyta gumowa – druciki miedziane $\mu=0,86$

Płyta gumowa – ziarna izolacji $\mu=0,77$

Płyta pilśniowa i warstwa gumy użyte jako powierzchnie robocze, na których następowała segregacja, były tymi materiałami, jakich użyto przy próbach wykorzystania drgań kołowych przesiewacza WK do odzyskania miedzi [2].

2.2. Stanowisko badawcze

Próby rozdziału drucików miedzi i ziarn izolacji przeprowadzono na stanowisku, które stanowił przenośnik wibracyjny zaadoptowany do badań. Schemat stanowiska przedstawiono na rys. 2. Rynna przenośnika 1 o długości 3 m i szerokości 0,1 m wykonana została w formie, która pozwala zmienić pokład roboczy. Po bokach zamontowane są burty: stalowa i wykonana z przezroczystego pleksi, która pozwala na obserwacje przemierzających się ziarn transportowanego materiału.



Rys. 2. Schemat przenośnika wibracyjnego z napędem mimośrodowym o prostoliniowej trajektorii drgań
Fig. 2. The diagram of the vibrating conveyor with the eccentric drive and rectilinear vibration trajectory

Ruch drgający wywołany jest mechanizmem mimośrodowym - 4, który napędzany jest silnikiem asynchronicznym - 2 o mocy $N=1$ [kW] i obrotach znamionowych $n = 1410$ [obr/min] przez przekładnię z pasków klinowych - 3 o przełożeniu 1:1. Silnik przyłączony był do sieci za pośrednictwem tyrystorowego przetwornika częstotliwości (tzw. falownik), co pozwalało zmieniać obroty silnika, a tym samym częstotliwość drgań rynny.

Konstrukcja mimośrodowa pozwalała na zmianę amplitudy w granicach $0 \div 5$ [mm].

Do rynny zamocowany był w specjalnym uchwycie czujnik zegarowy przemieszczeń, o dokładności 0,01 [mm] pozwalający ustalić żądaną amplitudę drgań pokładu rynny. Do dna rynny mocowano pokłady z twardej płyty pilśniowej o grubości 5 [mm] oraz gumy o grubości 2 [mm] i twardości 66 Sh(A). Obroty mimośrodowa sprawdzane były cyfrowym obrotomierzem typu: DTM-30.

Rynna wraz z napędem zamocowana jest na masywnej stalowej belce. Całość konstrukcji można odchylić od poziomu $\pm 14^\circ$ za pomocą podnośnika śrubowego - 5 i blokować zaciskiem - 6. W środku rynny zamocowano lej zasypowy - 7, którym podawano rozdzielany materiał, a pod dolną i górną krawędzią rynny umieszczono pojemnik - 8 do odbioru rozdzielanego materiału.

2.3. Metodyka przeprowadzonych prób rozdziału i ich wyniki

Podobnie jak przy próbach rozdziału mieszaniny drucików miedzianych i tworzywa pochodzącego z izolacji przeprowadzonych na pokładzie o drganiach kołowych, po szeregu wstępnych badań stwierdzono, że rozdział materiału następuje na pokładzie z płyty pilśniowej i gumy. Wyłożenie dna rynny przenośnika wibracyjnego twardym linoleum z PCW, blachą stalową gładką nie dało pozytywnych rezultatów. Serię prób segregacji miedzi i tworzywa z wynikiem, który można uznać za pozytywny, wykonano przy podłożu z płyty pilśniowej oraz gumy. Próby rozdziału wykonano zmieniając następujące parametry:

- kąt pochylenia rynny - β
- obroty wiratora mimośrodowego - n
- amplitudę drgań rynny - A .

Kąt pochylenia - β przy próbach rozdziału wynosił: 9° , 12° i 14° . Przy mniejszych kątach segregacja nie nastąpiła.

Obroty wiratora, a tym samym częstotliwość drgań rynny, zmieniano od 800 do 1550 [obr/min]. Przy niższych obrotach rozdział nie następował, natomiast górne obroty były obrotami maksymalnymi, które pozwalała osiągnąć konstrukcja stanowiska.

Amplituda drgań rynny przy próbach wynosiła $A = 1,5$ [mm], $2,0$ [mm] oraz $2,5$ [mm].

Wstępne badania przy amplitudzie mniejszej i większej od podanego powyżej zakresu nie dały pozytywnych wyników.

Próba rozdziału wykonana była w sposób następujący. Dla ustalonego kąta pochylenia rynny - β i ustalonej mechanizmem mimośrodu amplitudzie drgań rynny - A wykonano kolejne próby segregacji ziarn miedzi i tworzywa. Za pomocą przemiennika częstotliwości zadawano następujące obroty mimośrodu: $n = 800, 1100, 1250, 1400, 1550$ [obr/min].

Porcja materiału przemieszczona na jedną próbę wynosiła 200 [g]. Materiał podawany był przez stożkowy lej zasypowy na środek rynny. Czas podawania (w sposób ręczny z pojemnika) wynosi ok. 10 [s]. Czas pracy stanowiska dla rozdzielania jednej porcji materiału wynosił przeciętnie 60 [s]. Rozdzielany materiał odbierany był do pojemników umieszczonych poniżej dolnej i górnej krawędzi.

Wykonano szereg prób przy amplitudzie drgań, częstotliwości oraz kątach podniesienia rynny wymienionych powyżej. Za miarę efektywności rozdziału przyjęto gęstość usypową produktu zbieranego w pojemniku górnym (zwanym dalej „produkt górny”).

W produkcie górnym występowała przewaga ziarn miedzi. Produkt dolny (z dolnego pojemnika) to w przeważającej części tworzywo izolacji.

Gęstość usypowa czystych ziarn miedzi wynosi $\rho = 2,75$ [g/cm³], natomiast gęstość usypowa materiału izolacji całkowicie pozbawiona ziarn miedzi wynosi $\rho = 0,65$ [g/cm³]. Im wyższa usypowa gęstość „produktu górnego”, tym efekt segregacji był większy. Z kolei domieszka drucików miedzianych w produkcie dolnym zwiększała jego gęstość usypową, powyżej wartości 0,65 [g/cm³]. W tabelach 2 i 3 zamieszczono wyniki przeprowadzonych prób dla pokładu z płyty pilśniowej i gumy. Przedstawiono te z całej serii prób, które dały najlepsze efekty rozdziału. Dla obydwu powierzchni pokładu był to kąt pochylenia rynny $\beta = 14$ [°].

Tabela 2

Wyniki prób rozdziału: pokład z płyty pilśniowej, amplituda 2,0 [mm],
kąt pochylenia pokładu $\beta = 14$ [°]

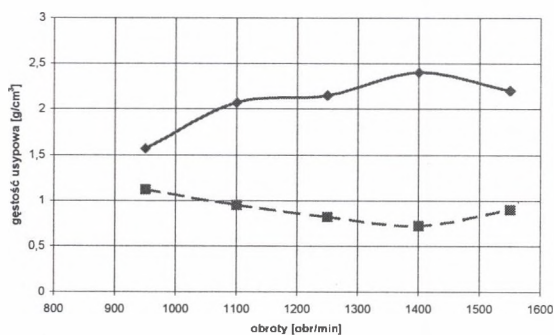
Obroty mimośrodowo	Wskaźnik podrzutu	Gęstość usypowa Produkt „górny”	Gęstość usypowa produkt „dolny”
[obr/min]	u_2	[g/cm ³]	[g/cm ³]
800	0,84	*	*
950	1,29	1,57	1,12
1100	1,59	2,07	0,95
1250	2,06	2,15	0,82
1400	2,56	2,40	0,72
1550	3,16	2,20	0,90

* nie nastąpił rozdział materiału

Tabela 3

Wyniki prób rozdziału: pokład z gumy, amplituda 2,5 [mm],
kąt pochylenia pokładu $\beta = 14$ [°]

Obroty mimośrodowo	Wskaźnik podrzutu	Gęstość usypowa Produkt „górny”	Gęstość usypowa produkt „dolny”
[obr/min]	u_2	[g/cm ³]	[g/cm ³]
800	1,05	1,55	1,15
950	1,48	1,60	1,20
1100	1,98	1,70	0,80
1250	2,57	1,83	0,85
1400	3,23	2,55	0,67
1550	3,95	2,40	0,77



Rys. 3. Gęstość usypowa rozdzielonych materiałów w funkcji obrotów wibratora: pokład z płyty pilśniowej - amplituda $A = 2$ mm, kąt pochylenia rynny $\beta = 14$ [°]

Fig. 3. The bulk density of the separated materials as a function of the vibrator rotation: the board made with fibreboard, Amplitude $A = 2$ mm, the angle of slope trough $\beta = 14$ [°]

Jak wspomniano, był to maksymalny kąt podniesienia rynny, na jaki pozwalała konstrukcja stanowiska. Zamieszczona w tabeli wartość wskaźnika podrzutu [1], będąca miarą dynamiki pracy dla urządzeń wibracyjnych, takich jak przenośniki czy przesiewacze, liczona była wzorem:

$$u_2 = \frac{A\omega^2 \sin \alpha}{g \cos \beta} \quad (1)$$

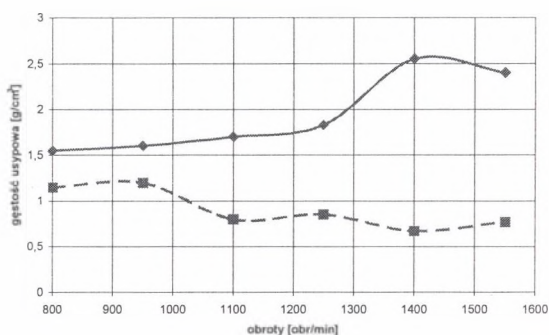
gdzie: A – amplituda drgań [m],

ω – częstość kołowa drgań [rad/s],

α – kąt pomiędzy kierunkiem drgań a powierzchnią rynny [°],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s²],

β – kąt pochylenia pokładu [°].



Rys. 4. Gęstość usypowa rozdzielonych materiałów w funkcji obrotów wibratora: pokład gumowy - amplituda A = 2.5 mm, kąt pochylenia rynny $\beta = 14$ [°]

Fig.4. The bulk density of the separated materials as a function of the vibrator rotation: the board made with rubber: Amplitude A= 2 mm, he angle of slope trough $\beta=14$ °

Kąt między kierunkiem drgań a pokładem wynosił $\alpha = 35$ [°]. Obserwacje procesu segregacji i ich wyniki wykazały, że proces ten zachodzi zarówno dla pokładu wykonanego z płyty pilśniowej twardej, jak i warstwy gumy o grubości 2 [mm].

Wyniki uzyskane przy użyciu pokładu gumowego były trochę lepsze.

Najkorzystniejszy rezultat osiągnięto dla amplitudy A = 2,5 [mm] i przy obrotach mimosrodu n = 1400 [obr/min]. Produkt górny zawierał wagowo tylko ok. 10% igielitu. Przy tych parametrach wskaźnik podrzutu $u_2 = 3,23$ był więc bardzo zbliżony do wartości $u_2 = 3,3$, przy której według pracy [5] segregacja gumy i metali kolorowych jest najbardziej efektywna.

Przy pokładzie z płyty pilśniowej wynik najwyraźniejszego rozdziału otrzymano przy tym samym kącie nachylenia pokładu i tych samych obrotach, lecz mniejszej amplitudzie drgań wynoszącej A = 2 [mm]; wskaźnik przy tych parametrach i najkorzystniejszym wyniku rozdziału był mniejszy i wynosił $u_2 = 2,56$.

Zaobserwowano, że w przypadku pokładu gumowego czas segregacji na długości rynny (od środka rynny w górę i w dół) był mniejszy niż 60 [s] i wynosił ok. 40 [s]. Nie obserwowano cofania się ziarn miedzi, co tłumaczy wysoki współczynnik tarcia, natomiast ziarna materiału izolacji, większe i bardziej sferyczne, toczyły się w dół.

Na rys. 3 i 4 graficznie przedstawiono wyniki zamieszczone w tabelach.

3. Podsumowanie

Przeprowadzone próby wykazały, że możliwy jest skuteczny rozdział mieszanin uzyskanych przy utylizacji odpadów składających się z tworzyw i złomu metali nieżelaznych, takich jak izolacja i kawałki drutu miedzianego.

Możliwe jest wykorzystanie urządzeń wibracyjnych, stosowanych w przeróbce surowców i transporcie, o trajektorii drgań kołowej i prostoliniowej. Metoda z wykorzystaniem drgającego pokładu jest tańsza i prostsza niż inne metody wykorzystujące różnicę ciężarów ziarn, np. strumień powietrza, czy też rozdział w cieczach ciężkich.

Seria prób, którą wykonano, nie dała wyraźnej odpowiedzi, czy do rozdziału użytych materiałów skuteczniejsze są drgania o kołowej trajektorii drgań czy też prostoliniowej.

Efektywna segregacja miedzi i tworzywa na pokładzie o drganiach prostoliniowych nastąpiła przy wyższym wskaźniku podrzutu niż w przypadku drgań kołowych. Wyniki prób i obserwacja dają podstawy do stwierdzenia, że parametry urządzenia wibracyjnego służącego do segregacji ziarn z tworzyw i metali należy dobrać doświadczalnie.

LITERATURA

1. Banaszewski T.: Przesiewacze. Wyd. Śląsk, Katowice 1991.
2. Baran J.: Wykorzystanie pokładu o drganiach kołowych do odzyskania miedzi z rozdrobnionych kabli energetycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 238. Gliwice 1998.
3. Blaschke S.: Przeróbka mechaniczna kopalni, cz. II. Wyd. Śląsk, Katowice 1984.
4. Blechman I., Dżanelidze: Wibracjonnoje pieriemieszczanije. Moskwa 1964.
5. Ghost S. i inni: Vibrationsortieren von Shredder-Schrott, Aufbereitungs-Technik 1988, nr 1.
6. Michalczyk J.: Maszyny wibracyjne – obliczenia dynamiczne, drgania, hałas. WNT, Warszawa 1995.

Recenzent: Dr inż. Lucjusz Anders

Abstract

A series of attempts to separate small copper wires and plastic insulation from cable pieces of 4 mm in maximum size has been carried out in the laboratory at the Department of Mine Processing and Conveying Machinery. The materials were separated on a deck of linear and circular vibrations. The results obtained from investigations of circular vibration were published. This paper deals with a deck of linear vibration. A vibrating conveyor of eccentric drive was used as test stand. The trough was lined with rubber and fibreboard. The tests were carried out by changing the conveyor parameters: inclination angle, vibration frequency and amplitude. The results can be used for designing a simple and low-cost equipment to utilise similar wastes.