

Janusz BARAN

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

WYKORZYSTANIE POKŁADU O DRGANIACH KOŁOWYCH DO ODZYSKIWANIA MIEDZI Z ROZDROBNIONYCH KABLI ENERGETYCZNYCH

Streszczenie. W laboratorium Katedry Maszyn Górniczych i Urządzeń Utylizacji Odpadów, wykorzystując przesiewacz wibracyjny o drganiach kołowych, przeprowadzono szereg prób rozdziału drobnych drucików miedzianych i materiału izolacji. W przesiewaczu pokład sitowy zastąpiono płaszczyzną roboczą wyłożoną gumą, płytą drewnianą, pilśniową i blachą ocynkowaną. Dla różnych parametrów dynamicznych drgającego pokładu przeprowadzono szereg prób rozdziału miedzi i izolacji. Kabel miedziany był rozdrobiony do ziarn o maksymalnym rozmiarze 4 mm. Otrzymano dość interesujące wyniki, które mogą być przyczynkiem do dalszych prób i w konsekwencji do skonstruowania prostego urządzenia do utylizacji tego typu odpadów.

A USE OF A CIRCULAR VIBRATION BED TO RETRIEVE COPPER FROM DISINTEGRATED POWER CABLE

Summary. In the laboratory of the Department of Mining Machines and Devices for Utilization of Wastes, a circular vibration screen was used to conduct a series of tests to separate fine copper wire from insulating material. In this screen the mesh deck was replaced by a working bed, lined with rubber, wooden board, fibreboard and zinc coated sheet. For various dynamic parameters of the oscillating deck series of tests of copper and insulation separation were carried out. The copper cable was disintegrated into maximum 4mm grains. Some very interesting data were obtained, which can serve as a springboard for further trials and an attempt to design a simple device to utilize waste of such kind.

1. Wprowadzenie

W przeróbce surowców mineralnych, jak również w rozwijającym się coraz bardziej przemyśle utylizacji odpadów i surowców wtórnych, znane są urządzenia, które wykorzystują różnice współczynników tarcia i ciężaru właściwego do wzbogacania i rozdzielania materiałów [2]. Najprostszym urządzeniem służącym do wzbogacania przy wykorzystaniu różnicy współczynników tarcia ziarn o powierzchnię, po której się poruszają, jest zwykła równia pochyla. Poruszające się po niej ziarna nabierają różnej prędkości zależnej od współczynnika tarcia. Odpowiednie rozmieszczenie kieszeni odbierających - bliżej lub dalej od dolnej krawędzi - umożliwia odbiór ziarn rozdzielanych produktów.

Innym typem urządzenia do rozdziału ziarn mineralnych, w którym wykorzystuje się różnice współczynnika tarcia względem podłoża, jest tzw. wzbogacalnik zwojowy [2]. Składa się on ze spiralnie zwiniętego koryta. Ziarna o niskim współczynniku tarcia nabierają w krótkim czasie dużej prędkości i siła odśrodkowa powoduje ich przemieszczanie się w kierunku zewnętrznej części koryta. Ziarna o większym współczynniku tarcia poruszają się z mniejszą prędkością i odbierane są ze środka koryta.

W obu wspomnianych powyżej urządzeniach warunkiem uzyskania dobrych rezultatów jest konieczność rozdzielenia nadawy na wąskie klasy ziarnowe, co związane jest z faktem, że współczynnik tarcia zależy od wielkości ziarn i charakteru ich powierzchni.

Inna grupa urządzeń używanych obecnie do rozdziału materiałów drobnoziarnistych, to tarciove wzbogacalniki wibracyjne. W urządzeniach tych podparta sprężyste płaszczyna robocza wprowadzana jest w drgania najczęściej za pomocą dwumasowego wibratora bezwładnościowego. Częstota drgań jest na ogół zbliżona do 50 Hz, a amplituda wynosi ok. 1÷2 mm. Nadawa podawana jest na roboczą płaszczynę urządzenia w pobliżu jej środka, a rozdział następuje wskutek tego, że ziarna o niskim współczynniku tarcia poruszają się w kierunku dolnej krawędzi, a o wyższym ku górze, w kierunku działającej na nie siły bezwładności pochodzącej od drgań [2].

Celem przeprowadzonych prób jest zbadanie możliwości rozdziału materiałów drobnoziarnistych, jakie powstają przy przerobie i utylizacji surowców wtórnych, przy wykorzystaniu nadrezonansowego przesiewacza wibracyjnego typu WK. W przesiewaczu tym na rzeszocie w miejsce sit zamontowano płaskie pokłady o różnych rodzajach powierzchni.

Badania, które przeprowadzono, są wstępnymi próbami rozpoznawczymi, a otrzymane wyniki mogą być wskazówką przy projektowaniu lub przystosowywaniu urządzeń wibracyjnych do rozdziału ziarn utylizowanych materiałów.

Obecnie stosowane są metody wykorzystujące dużą różnicę ciężarów właściwych ziarn, np. w strumieniu powietrza czy też w cieczach ciężkich. Metody te, nawet jeśli są skuteczne, wymagają budowania, na ogół kosztownych i uciążliwych w eksploatacji, instalacji.

Wykorzystanie drgań oraz znanych urządzeń wibracyjnych do rozdziału ziarn utylizowanych materiałów jest niewątpliwie sposobem najprostszym i najtańszym.

2. Materiał rozdzielany, użyty w badaniach

Materiał przeznaczony do badań pobrano z Zakładu Przeróbki Metali Nieżelaznych „WTÓRMET” w Bytomiu. Materiał pochodził z leja wyladowczego, do którego zasypuje się materiał z pociętych i rozdrobnionych wcześniej kabli. Był on mieszaniną składającą się z drobnych ziarn powstałych w wyniku rozdrobnienia cienkich przewodów miedzianych izolowanych igielitem. Oprócz miedzi i igielitu zawierał minimalną (ok.2%) domieszkę ziarn aluminowych.

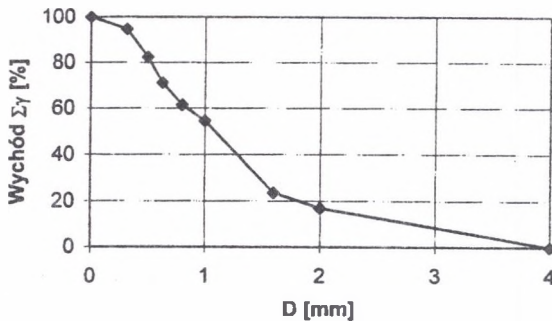
Przed wykonaniem prób rozdziału drucików miedzianych i ziarn izolacji igielitowej przeprowadzono analizę sitową materiału. Na rys.1 przedstawiono krzywą składu ziarnowego nadawy przeznaczonej do badań. Ponadto określono gęstość usypową materiału dla poszczególnych klas ziarnowych, a po ręcznym oddzieleniu ziarn izolacji od drucików miedzianych określono procentowy udział miedzi w poszczególnych klasach ziarnowych. Wyniki tej analizy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Procentowy udział miedzi w poszczególnych klasach ziarnowych

Lp.	Klasa ziarnowa mm	Udział miedzi w klasie ziarnowej %	Gęstość usypowa ξ 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	2,59
8	0÷0,315	<i>drobne zanieczyszczenia</i>	-

Średnia gęstość usypowa materiału wynosiła $\rho=1230$ kg/m³.



Rys.1. Krzywa składu ziarnowego materiału użytego do prób
Fig.1. Size analysis curve for the tested material

Wyniki przeprowadzonych pomiarów współczynnika tarcia między cząstkami materiału nadawy i pokładami roboczymi zastosowanymi w badaniach przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

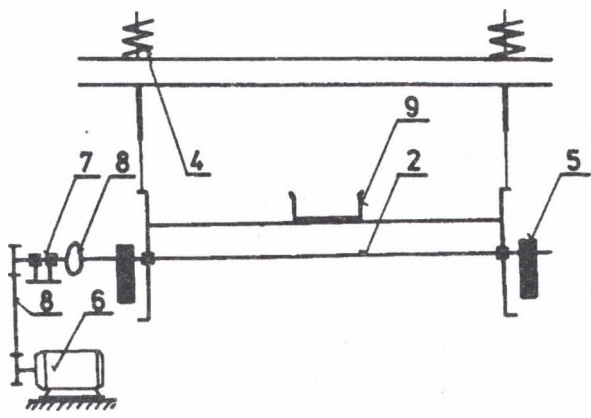
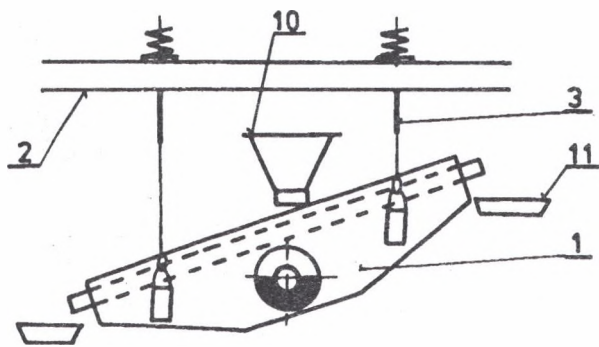
Wyniki badań współczynnika tarcia między materiałem a pokładem roboczym

Rodzaj pokładu	Druciki miedziane	Igielit	Stosunek współczynnika tarcia igielitu do współczynnika tarcia miedzi
Pyta piłśniowa	0,42	0,76	1,8
Wykładzina z linoleum	0,31	0,44	1,42
Gładka blacha stalowa	0,33	0,50	1,51
Deska sosnowa	0,30	0,45	1,5
Płyta gumowa o grubości 2 mm	0,77	0,86	1,22

3. Badania rozdziału materiału na pokładzie przesiewacza WK

3.1. Stanowisko badawcze

Badania rozdziału drucików miedzi i ziarn izolacji igielitowej przeprowadzono na stanowisku badawczym zbudowanym na bazie przesiewacza z jednomasowym wibratorem bezwładnościowym. Schemat stanowiska przedstawiono na rys.2. Rzeszoto przesiewacza 1 podwieszono było za pomocą linek stalowych 3, łączników o regulowanej długości oraz sprężyn śrubowych 4, na stalowej konstrukcji nośnej 2. Wibrator jednomasowy 5 zamocowany był na wale ułożyskowanym w ścianach bocznych rzeszota. Napęd umieszczony był na płycie stalo-



Rys.2. Schemat stanowiska badawczego
Fig.2. Lay-out of a test station

wej zamocowanej do konstrukcji stalowej. Silnik elektryczny prądu stałego 6 napędzał wał pośredni 7 poprzez przekładnię pasową i sprzęgło kabłąkowe 8 mające za zadanie kompensovanie przesunięcia osi wału głównego, drgającego z rzeszotem i nieruchomego wału pośredniego. Masa rzeszota wynosiła $m=460$ kg, a zastępczy współczynnik sprężystości zawieszenia $k=183400$ N/m. Pokład sitowy zastąpiono pokładem roboczym tworzącym rodzaj rynny, ograniczonej dwoma burtami 9. Długość rynny wynosiła 2 m, a jej szerokość 0,15 m. Do dna rynny mocowano pokłady z różnych materiałów: drewna, twardej płyty pilśniowej, blachy stalowej, gumy i linoleum. Nad środkiem rynny zamocowano lej zasypowy 10, którym podawano rozdzielany materiał. Pod dolną i górną krawędzią rynny zamocowano pojemniki 11 służące do odbierania rozdzielanego materiału. Podstawowe masy niewyważone wibratora przesiewacza WK, który przystosowano do przeprowadzenia prób, miały moment statyczny równy 0,756 kgm, pozwalający osiągnąć amplitudę drgań $A=1,58$ mm. Wykonano dodatkowe masy niewyważone o mniejszym momencie statycznym, by uzyskać możliwość osiągania mniejszych amplitud.

Po modernizacji stanowiska i dobraniu właściwych mas niewyważonych amplitudy te wynosiły: $A=0,2; 0,4; 0,8$ i $1,2$ mm. Wskaźnik podrzutu [1, 4], określający dynamikę drgań pokładu określano wzorem:

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

gdzie: A - amplituda drgań (m),

ω - częstość kołowa drgań (rad/s),

g - przyspieszenie ziemskie (m/s^2),

β - kąt nachylenia pokładu ($^\circ$).

4. Metodyka i wyniki badań

Badania możliwości rozdziału mieszaniny drobnych drucików miedzianych i tworzywa pochodzącego z izolacji przewodów przeprowadzono na pokładach roboczych wymienionych w tabeli 2.

Próby wykonano dla następujących kątów nachylenia pokładu roboczego: $\beta=2; 4; 6$ i 8° . Obroty wibratora zmieniano od 700 do 1500 obr/min. Porcja materiału przeznaczonego na jedną próbę wynosiła 200 g. Materiał podawany był lejem zsypowym na środek rynny. Czas podawania materiału na pokład roboczy wynosił 10 s. Rozdzielony materiał odbierany był do pojemników ustawionych poniżej dolnej i górnej krawędzi. Obroty wibratora były w każdym przypadku przeciwne do pochylenia pokładu roboczego.

Wstępne badania pozwoliły stwierdzić, że rozdział materiału na dwie frakcje następuje tylko na pokładzie z płyty pilśniowej i pokładzie gumowym (tab.2). Pozostałe materiały okazały się nieprzydatne w całym zakresie parametrów dynamicznych drgającego rzeszota, stosowanym podczas badań.

Przedstawione w tabeli 2 wartości współczynnika tarcia wyjaśniają w pewnym stopniu, dlaczego rozdział następuje na pokładzie z płyty pilśniowej. W przypadku tego pokładu iloraz współczynników tarcia materiałów składowych jest największy. W przypadku pokładu z gumy o grubości 2 mm (tab.2) i twardości 66°Sh rozdział materiału zachodzi, mimo że współczynniki tarcia mają wprawdzie wysoką wartość, lecz ich iloraz jest najmniejszy. Tłumaczyć to można innymi właściwościami pokładu, jego elastycznością, która powoduje, że rozdział drucików miedzianych i ziarn igielitu nastąpił przy pewnych parametrach dynamicznych.

Czas pracy stanowiska dla rozdzielania jednej porcji materiału wynosił ≈ 60 s. Wykonano szereg prób przy różnych nachyleniach pokładu roboczego, różnych obrotach i amplitudach drgań. Za miarę jakości rozdziału przyjęto różnicę między gęstością usypową produktu zbiebranego w górnym pojemniku (zwanym produktem górnym) i produktu zebranego w pojemniku dolnym (produkt dolny). W produkcie górnym zawsze występowała przewaga ziarn miedzi, gdyż ziarna te przemieszczały się w górę. W produkcie dolnym uzyskiwano przewagę ziarn izolacji, które przemieszczały się ku dolnej krawędzi pokładu roboczego.

Wstępne próby, których wyników nie przedstawiono w niniejszym opracowaniu, wykazały, że przy większych masach niewyważonych wibratora, a więc przy wyższej amplitudzie drgań, rozdział nie zachodził.

Jak już wspomniano, rozdział ziarn miedzi i igielitu następował przy zastosowaniu pokładu z płyty pilśniowej i gumy. W przypadku użycia pokładu z płyty pilśniowej najlepsze wyniki uzyskano przy amplitudzie drgań $A=1,58$ mm i obrotach wibratora $n=900$ obr/min oraz kącie nachylenia pokładu sitowego $\beta=2^\circ$. Przy tych parametrach dynamicznych otrzymano najwyraźniejszy rozdział mieszaniny drucików miedzianych i igielitu. Produkt górny zawierał

ok. 95% miedzi i tylko 5% odpadów igielitowych. Dolny produkt zawierał praktycznie wyłącznie ziarna igielitu ze śladową ilością drucików miedzianych. Przy mniejszych amplitudach i większych kątach nachylenia pokładu wyniki rozdziału były znacznie mniej korzystne.

Zadowolające, chociaż nieco gorsze, wyniki rozdziału otrzymano również w przypadku stosowania pokładu gumowego. Ciekawym efektem badań jest to, że parametry dynamiczne, przy których uzyskano najlepsze efekty przy zastosowaniu pokładu gumowego, są inne niż w przypadku użycia płyty pilśniowej. Dla pokładu z gumy najlepsze rezultaty rozdziału uzyskano dla amplitudy $A=1,2$ mm, kąta nachylenia pokładu roboczego $\beta=4^\circ$ i obrotów wibratora $n=1100$ obr/min. Zwraca uwagę fakt, że mimo różnic wymienionych optymalnych parametrów dla pokładu gumowego i pokładu z płyty pilśniowej, w obydwu przypadkach wartość wskaźnika podrzutu (1) ma bardzo podobną wartość.

W tabeli 3 zamieszczono wyniki badań dla pokładu z płyty pilśniowej, a w tabeli 4 wyniki uzyskane przy zastosowaniu pokładu gumowego. W obydwu tabelach zestawiono, poza omawianymi dotychczas parametrami, wartości wskaźnika podrzutu (1), uzyskiwanego podczas badań. Rysunki 3 i 4 ilustrują zestawione w tabelach wyniki.

Tabela 3

Wyniki badań rozdziału na pokładzie z płyty pilśniowej
dla amplitudy $A=1,58$ mm i kąta nachylenia pokładu $\beta=2^\circ$

Prędkość obrotowa wału wibratora [obr/min]	Wskaźnik podrzutu u_2	Gęstość usypowa produktu górnego [g/cm ³]	Gęstość usypowa produktu dolnego [g/cm ³]
700	0,85	1,72	1,08
800	1,14	1,85	0,85
900	1,41	2,55	0,68
1000	1,76	2,32	0,75
1100	2,12	1,75	0,88
1200	2,54	*	*

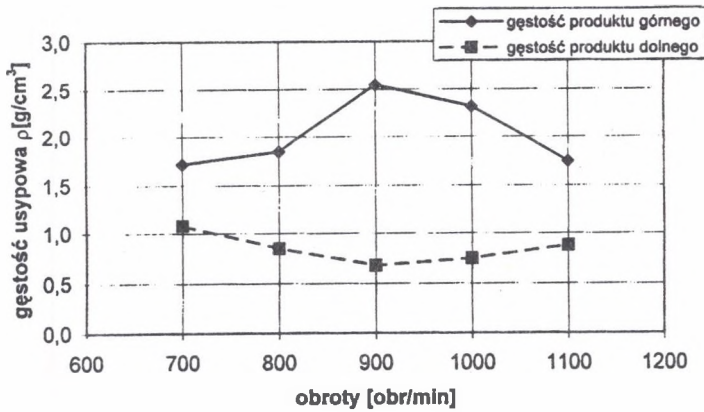
* - brak rozdziału materiału

Tabela 4

Wyniki badań rozdziału na pokładzie z gumy o grubości 2 mm
dla amplitudy $A=1,2$ mm i kąta nachylenia pokładu $\beta=4^\circ$

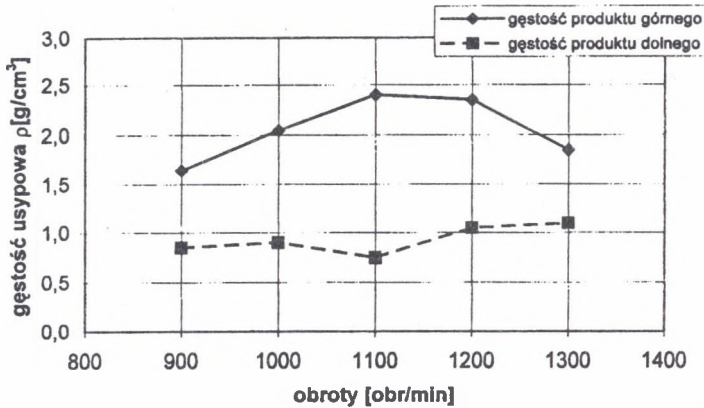
Prędkość obrotowa wału wibratora [obr/min]	Wskaźnik podrzutu u_2	Gęstość usypowa produktu górnego [g/cm ³]	Gęstość usypowa produktu dolnego [g/cm ³]
800	0,85	*	*
900	1,06	1,65	0,85
1000	1,23	2,05	0,90
1100	1,59	2,40	0,75
1200	1,90	2,35	1,05
1300	2,22	1,85	1,10
1400	2,60	*	*

* - brak rozdziału materiału



Rys.3. Gęstość usypowa rozdzielonych materiałów w funkcji obrotów wału wibratora dla amplitudy 1,58 mm, kąta nachylenia pokładu $\beta=2^\circ$ i pokładu z płyty pilśniowej

Fig.3. Bulk density of the segregated material as a function of vibrator shaft speed; amplitude 1,58 mm, inclination angle of the deck $\beta=2^\circ$, the deck of wooden board sheet



Rys.4. Gęstość usypowa rozdzielonych materiałów w funkcji obrotów wału wibratora dla amplitudy 1,2 mm, kąta nachylenia pokładu $\beta=4^\circ$ i pokładu z gumy o grubości 2 mm

Fig.4. Bulk density of the segregated material as a function of vibrator shaft speed; amplitude 1,2 mm, inclination angle of the deck $\beta=4^\circ$, the deck of a 2mm thick rubber sheet

Zauważyć można, że najlepszy rozdział materiału na pokładzie z płyty pilśniowej i gumy następuje przy zbliżonej wartości wskaźnika podrzutu; $u_2=1,41$ dla płyty pilśniowej i 1,59 dla pokładu gumowego. Liczba prób przeprowadzonych podczas badań była jednak zbyt mała, by uogólniać powyższy wniosek.

5. Zakończenie

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysnuć wniosek, że dzięki wykorzystaniu prezentowanej metody, możliwy jest rozdział materiałów tworzących mieszaniny różnych ziarn uzyskiwanych w wyniku utylizacji odpadów i odzyskiwaniu surowców wtórnych. Do prac tych wykorzystać można stosowane dotychczas w przeróbce surowców mineralnych urządzenia wibracyjne, jak przesiewacze nadrezonansowe o kołowej trajektorii drgań. Przedstawione w niniejszym artykule próby i ich wyniki stanowią zaledwie niewielki przyczynek obszernego zagadnienia odzysku surowców z wykorzystaniem urządzeń wibracyjnych [5]. Biorąc jednak pod uwagę niski koszt i prostą budowę urządzenia wibracyjnego do rozdziału ziarn „na sucho”, celowe wydaje się kontynuowanie przedstawionych prób.

LITERATURA

1. Banaszewski T.: Przesiewacze. Wyd.Śląsk, Katowice 1991.
2. Blaschke S.: Przeróbka mechaniczna kopalni, cz.II. Wyd.Śląsk, Katowice 1984.
3. Blechman I., Dżanelidze: Wibracyjnoje pieriemieszczanije. Moskwa 1964.
4. Ghost S.[i inni]: Vibrationsortieren von Shredder-Schrott, Aufbereitungs-Technik 1988, nr 1.
5. Michalczyk J.: Maszyny wibracyjne - obliczenia dynamiczne, drgania, hałas. WNT, Warszawa 1995.

Abstract

In the laboratory of the Department of Mining Machines and Devices for Utilisation of Wastes, a circular vibration screen was used to conduct a series of tests to separate fine copper wire from insulating material. In this screen the mesh deck was replaced by a working bed, lined with rubber, wooden board, fibreboard and zinc coated sheet.

The active surface of the screen had a form of a 0,15 m wide and 2 m long trough. Thanks to small unbalanced basic masses mounted on the shaft of the screener, narrow vibration amplitudes and wider range of dynamic parameters during tests were possible.

For various dynamic parameters of the oscillating deck series of tests of copper and insulation separation were carried out. The copper cable was disintegrated into maximum 4mm grains. Some very interesting data were obtained, which can serve as a springboard for further trials and an attempt to design a simple device to utilize waste of such kind.

The screen analysis performed on the tests material indicated that copper wire samples used during the tests, the purpose of which was to separate them, were contained within finer size grades classes, with their greatest proportion in the 0,3 to 0,5 mm grade.