RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **235524** (13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **420048**

(22) Data zgłoszenia: **30.12.2016**

(51) Int.Cl.
B03B 5/44 (2006.01)

(54) **Ferrytowy obciążnik do cieczy ciężkiej zawiesinowej i sposób jego wytwarzania oraz zastosowanie ferrytu jako obciążnika do cieczy ciężkiej**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
02.07.2018 BUP 14/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
24.08.2020 WUP 12/20

(73) Uprawniony z patentu:
ECOBACK SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Warszawa, PL
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
PIOTR MIKOŁAJCZYK, Warszawa, PL
DAMIAN KRAWCZYKOWSKI, Przeginia Duchowna, PL
TOMASZ GAWENDA, Kraków, PL
DARIUSZ FOSZCZ, Kraków, PL
WALDEMAR KĘPYS, Kraków, PL
ALDONA KRAWCZYKOWSKA, Przeginia Duchowna, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Magdalena Tagowska

PL 235524 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest ferrytowy obciążnik do cieczy ciężkiej zawiesinowej, sposób jego wytwarzania z materiałów odpadowych oraz zastosowanie ferrytu jako obciążnika do cieczy ciężkiej zawiesinowej.

Ciecze o gęstości większej od gęstości wody, nazywane w inżynierii mineralnej cieczami ciężkimi, stosowane są do wzbogacania surowców mineralnych, w szczególności węgla kamiennego oraz rud, np. rud żelaza, rud cynkowo-ołowiowych, manganu, wolframu, cyny, rud niemetalicznych, oraz wielu innych kopalin użytecznych. Zastosowanie cieczy ciężkich w procesach wzbogacania surowców mineralnych zostało opisane, na przykład, w opisach patentowych PL40417 i PL46223, oraz w publikacji Laskowski T., Błaszczyński S., Ślusarek., pt. *„Wzbogacanie kopalin w cieczach ciężkich”*, Wyd. Śląsk, Katowice 1979. Procesy takie wykorzystują zjawisko pływania po powierzchni cieczy ziaren o gęstości mniejszej od gęstości cieczy, dzięki czemu frakcja użyteczna surowców mineralnych zostaje oddzielona od frakcji płonnej.

Przykładem typowego wzbogacalnika wykorzystującego ciecz ciężką jest wzbogacalnik typu DISA. Zawierająca użyteczne produkty mineralne oraz produkty płonne nadawa kierowana jest do wzbogacalnika, gdzie wewnątrz koryta roboczego z cieczą ciężką ulega rozdziałowi na frakcję pływającą i tonącą. Frakcja pływająca przesuwa się z prądem cieczy ciężkiej w kierunku przelewu, gdzie przy pomocy wygarniacza kierowana jest na zewnątrz wzbogacalnika. Natomiast frakcja tonąca po opadnięciu do przegród koła wynoszącego wyniesiona zostaje na pewną wysokość do zsuwni odprowadzającej frakcję tonącą.

Ciecz ciężka doprowadzana jest do wzbogacalnika na dwóch poziomach: nieznacznie nad lustrem cieczy i w dolnej części wzbogacalnika pod lustrem cieczy. Ciecz ciężka przelewa się przez próg przelewowy i wraz z produktem pływającym wyprowadzana jest na zewnątrz wzbogacalnika. Obieg cieczy ciężkiej jest zamknięty. Ciecz ciężka zawracana jest do wzbogacalnika, a jej niedobór uzupełniany jest świeżą cieczą o odpowiedniej gęstości.

Wyróżnia się ciecze ciężkie jednorodne i niejednorodne. Ciecze ciężkie jednorodne charakteryzują się stałą gęstością w całym obszarze cieczy niezależnie od czasu. Na ogół są to chemiczne roztwory soli. Ciecze ciężkie niejednorodne (zawiesinowe) są mechaniczną zawiesiną wody z bardzo drobnymi ziarnami minerałów ciężkich, które utrzymują się przez pewien czas w wodzie w postaci zawiesiny.

Obciążnikami cieczy ciężkich zawiesinowych są, na przykład, magnetyt – do wzbogacania węgli kamiennych, oraz mieszanina magnetytu (25%) i żelazokrzemu (75%) – do wzbogacania rudy cynkowo-ołowiowej. Szacuje się, że w polskich zakładach przeróbki węgla wzbogaca się w cieczach ciężkich ok. 40 mln ton węgla rocznie. Z reguły stosuje się ciecze o dwóch charakterystycznych gęstościach: 1,5 g/cm^3, w której uzyskuje się węgiel o podwyższonych parametrach jakościowych i środowiskowych (obniżona zawartość popiołu, siarki, chloru) oraz 1,8 g/cm^3, w której oddziela się skałę płonną (produkt tonący). W zakładach wzbogacania rud stosuje się ciecz ciężką o gęstości rozdziału równej granicznej maksymalnej gęstości składników skały płonnej. W przypadku polskich rud cynkowo-ołowiowych gęstość cieczy ciężkiej, przy której następuje wzbogacenie rudy wynosi ok. 2,85 g/cm^3.

Obciążnikiem cieczy ciężkich zawiesinowych są drobno zmielone ziarna ciała stałego o gęstości większej od 1 g/cm^3, które mogą tworzyć w wodzie zawiesinę. Obciążniki powinny charakteryzować się: gęstością dwukrotnie większą od największej gęstości sporządzonej na ich bazie cieczy zawiesinowej, nierozpuszczalnością w wodzie, trwałością oraz łatwością odzysku. W praktyce przemysłowej, ze względu na łatwość odzyskiwania, stosowane są głównie obciążniki magnetyczne, w szczególności obciążniki z magnetytu i żelazokrzemu. Podstawowe wymagania stawiane magnetytowym obciążnikom cieczy ciężkich zostały opisane w Polskiej Normie PN-92/G-04601 *„Obciążniki cieczy ciężkiej zawiesinowej. Obciążnik magnetytowy. Wymagania i badania”*.

Zgodnie z wyżej wskazaną normą obciążniki magnetytowe powinny spełniać następujące wymogi: gęstość obciążnika – min. 4 g/cm^3 dla magnetytów sztucznych oraz 4,5 g/cm^3 dla magnetytu; zawartość składników magnetycznych – co najmniej 90%; podatność magnetyczna – co najmniej 40% dla magnetytów sztucznych oraz co najmniej 70% dla magnetytu; skład ziarnowy – udział poszczególnych wychodów klas ziarnowych magnetytu powinien się mieścić w następujących granicach: 0–10% dla klasy powyżej 0,15 mm, 60–80% dla klasy poniżej 0,06 mm oraz 40–50% dla klasy poniżej 0,04 mm.

Obecnie stosowane obciążniki do cieczy ciężkiej, tj. magnetyt i żelazokrzem, są bardzo kosztowne, i jak do tej pory nie udało się opracować ich tańszego zamiennika. Zatem istnieje zapotrzebo-

wanie na obciążnik cieczy ciężkich zawiesinowych, którego właściwości nie odbiegałyby od obciążników obecnie stosowanych, a których wykorzystanie było bardziej ekonomiczne. Co więcej istnieje zapotrzebowanie na wykorzystanie zawierających ferryt materiałów odpadowych, na przykład, żużli hutniczych, pyłów stalowniczych, popiołów ze spalania węgla oraz frakcji ferromagnetycznej odpadów elektronicznych.

Twórcy niniejszego wynalazku opracowali ferrytowy obciążnik do cieczy ciężkich zawiesinowych, który może zastępować obecnie stosowane obciążniki magnetyczne, takie jak obciążniki z magnetytu. Obciążnik ferrytowy nie tylko stanowi tańszy odpowiednik dla obecnie stosowanych obciążników do cieczy ciężkich, ale dzięki temu, że jest wytwarzany z materiałów odpadowych, jest również przyjazny środowisku. Co więcej sposób otrzymywania obciążnika ferrytowego polega jedynie na selektywnym kruszeniu i fizycznej separacji materiałów odpadowych. Dzięki efektowi kowalizacji metali możliwe jest oddzielanie ziaren ferrytu od znajdujących się w odpadach metali. Tym samym, do obróbki obciążnika ferrytowego nie jest wymagane stosowanie nieprzyjaznych środowisku środków chemicznych.

Przedmiotem wynalazku jest obciążnik do cieczy ciężkiej zawiesinowej, znamienny tym, że obejmuje rozdrobniony ferryt o wielkości ziaren nieprzekraczającej 0,6 mm, a korzystniej 0,3 mm. W korzystnej postaci wykonania skład ziarnowy rozdrobnionego ferrytu obciążnika według wynalazku mieści się w następujących przedziałach: 0–15% dla klasy ziaren o wielkości powyżej 0,15 mm, 60–80% dla klasy ziaren o wielkości poniżej 0,06 mm oraz 40–50% dla klasy ziaren o wielkości poniżej 0,04 mm. Najkorzystniej, skład ziarnowy rozdrobnionego ferrytu obciążnika według wynalazku kształtuje się następująco 13,4% dla klasy ziaren o wielkości powyżej 0,15 mm, 37,1% dla klasy ziaren o wielkości w przedziale od 0,15 mm do 0,06 mm, 9,9% dla klasy ziaren o wielkości w przedziale poniżej 0,06 mm do 0,04 mm, i 39,6% dla klasy ziaren o wielkości poniżej 0,04 mm.

W korzystnej postaci wykonania obciążnik według wynalazku stanowi rozdrobniony ferryt pozyskiwany z materiałów odpadowych, takich jak żużle hutnicze, pyły stalownicze, popioły ze spalania węgla, a w szczególności z odpadów elektronicznych, korzystnie z płytek obwodów drukowanych (PCB), technikami selektywnego rozdrabniania i klasyfikacji mechanicznej.

Przedmiotem wynalazku jest ponadto sposób wytwarzania obciążnika ferrytowego cieczy ciężkiej zawiesinowej polegający na rozdrabnianiu i klasyfikacji mechanicznej frakcji, który to sposób obejmuje:

a) klasyfikację rozdrobnionej frakcji ferrytowej materiału odpadowego na klasyfikatorze mechanicznym 0,2–2 mm, z wytworzeniem frakcji przesianej drobnej oraz frakcji grubej,
b) rozdzielanie frakcji przesianej drobnej z etapu (a) w separatorze elektromagnetycznym z wędrującym polem magnetycznym, gdzie po oddzieleniu frakcji niemagnetycznej pozostaje frakcja ferrytowa, stanowiąca obciążnik cieczy ciężkiej zawiesinowej,
c) rozdrabnianie otrzymanej w etapie (a) z klasyfikatora 0,2–2 mm frakcji grubej, korzystnie w młynie drobno mielącym,
d) zawracanie otrzymanej w etapie (c) frakcji do klasyfikatora 0,2–2 mm z etapu (a), oraz
e) ewentualne okresowe usuwanie grubej frakcji metalicznej z klasyfikatora 0,2–2 mm.

Korzystnie klasyfikator 0,2–2 mm mechaniczny z etapu (a) sposobu według wynalazku stanowi klasyfikator mechaniczny 1 mm. Oznaczenie klasyfikatora oznacza, że w danym etapie sposobu może być stosowany klasyfikator o wartości odcięcia wybranej z przedstawionego zakresu lub klasyfikator o konkretnej wskazanej wartości odcięcia. Ponadto korzystnie w etapie (a) sposobu według wynalazku wyłapywana jest frakcja lekka przez separator frakcji lekkiej znajdujący się na końcu klasyfikatora.

W korzystnej postaci wykonania sposób według wynalazku obejmuje dodatkowo etapy:

(c1) w którym otrzymana w etapie (a) frakcja gruba z klasyfikatora 0,2–2 mm jest rozdrabniana w kruszarce, korzystnie kruszarce walcowej,
(c2) w którym rozdrobniona w etapie (c1) frakcja zostaje rozdzielona na klasyfikatorze dwupokładowym 2–5 mm i 0,2–2 mm z wytworzeniem trzech frakcji: najdrobniejszej przesianej frakcji ferrytowej kierowanej do separatora elektromagnetycznego z wędrującym polem magnetycznym wraz z przesianą frakcją z etapu (a), grubszej frakcji ferrytowej kierowanej do rozdrabniacza z etapu (c), oraz najgrubszej frakcji będącej frakcją metaliczną, która jest oddzielana z układu wraz z frakcją metaliczną z etapu (e),

przy czym grubsza frakcja ferrytowa otrzymana w etapie (c2) jest zawracana do stosowanego w tym etapie klasyfikatora dwupokładowego 2–5 mm i 0,2–2 mm.

Korzystnie, klasyfikator dwupokładowy 2–5 mm i 0,2–2 mm z etapu (a2) stanowi klasyfikator dwupokładowy 4 mm i 1 mm.

W korzystnej postaci wykonania sposób według wynalazku obejmuje etap (a1), w którym otrzymana w etapie (a) frakcja gruba z klasyfikatora 0,2–2 mm jest poddawana dalszemu rozdziałowi na klasyfikatorze mechanicznym 5–8 mm, przy czym przesiana drobna frakcja jest kierowana do kruszarki z etapu (c1), a frakcja gruba jest poddawana dalszej obróbce obejmującej etapy:

f) rozdrabniania w kruszarce, korzystnie kruszarce walcowej, frakcji grubej z klasyfikatora 5–8 mm z etapu (a1),
g) klasyfikacji mechanicznej frakcji uzyskanej w etapie (f) na klasyfikatorze dwupokładowym 8–12 mm i 5–8 mm, przy czym frakcja z etapu (f) jest rozdzielana na trzy frakcje: najdrobniejszą przesianą frakcję ferrytową zawracaną do klasyfikatora mechanicznego 0,2–2 mm z etapu (a), grubszą frakcję ferrytową kierowaną do dalszej obróbki, oraz najgrubszą frakcję będącą frakcją metaliczną, która jest oddzielana z układu wraz z frakcją metaliczną z etapu (c2) i (e),
h) rozdrabniania w kruszarce, korzystnie kruszarce walcowej, grubszej frakcji ferrytowej otrzymanej w etapie (g),
i) klasyfikacji mechanicznej frakcji uzyskanej w etapie (h) na klasyfikatorze mechanicznym 5–8 mm, przy czym frakcja z etapu (h) jest rozdzielana na dwie frakcje: drobniejszą frakcję ferrytową zawracaną do klasyfikatora mechanicznego 0,2–2 mm z etapu (a) oraz grubszą frakcję, będącą frakcją metaliczną, która jest oddzielana z układu wraz z frakcją metaliczną z etapu (c2), (e) i (g).

Korzystnie etap (a1) sposobu według wynalazku jest prowadzony na klasyfikatorze mechanicznym 6,3 mm. Również korzystnie etapy (a) i (a1) według wynalazku są prowadzone na jednym dwupokładowym klasyfikatorze 5–8 mm i 0,2–2 mm, a korzystniej na klasyfikatorze 6,3 i 1 mm. Ponadto korzystnie klasyfikator dwupokładowy 8–12 mm i 5–8 mm z etapu (g) sposobu według wynalazku stanowi klasyfikator dwupokładowy 10 i 6,3 mm, a klasyfikator mechaniczny 5–8 mm z etapu (i) sposobu według wynalazku stanowi klasyfikator 6,3 mm.

Sposób według wynalazku jest korzystnie prowadzony w sposób ciągły. W alternatywnej korzystnej postaci wykonania sposób według wynalazku jest prowadzony cyklicznie.

Przedmiotem wynalazku jest także obciążnik ferrytowy cieczy ciężkiej zawiesinowej otrzymany sposobem według wynalazku.

W kolejnym aspekcie wynalazek dotyczy zastosowania rozdrobnionego ferrytu jako obciążnika cieczy ciężkiej zawiesinowej. W korzystnej postaci wykonania, zgodnie z zastosowaniem według wynalazku ferryt jest pozyskiwany z materiałów odpadowych, takich jak odpady elektroniczne, żużle hutnicze, pyły stalownicze, popioły ze spalania węgla, korzystnie z odpadów elektronicznych, korzystniej z płytek obwodów drukowanych, technikami selektywnego rozdrabniania i klasyfikacji mechanicznej.

Przedmiot wynalazku uwidoczniono na rysunku, na którym:

Figura 1 przedstawia schemat układu stosowanego w sposobie wytwarzania obciążnika ferrytowego według pierwszej postaci wykonania wynalazku;

Figura 2 przedstawia schemat układu stosowanego w sposobie wytwarzania obciążnika ferrytowego według drugiej postaci wykonania wynalazku;

Figura 3 przedstawia schemat układu stosowanego w sposobie wytwarzania obciążnika ferrytowego według trzeciej postaci wykonania wynalazku;

Figura 4 przedstawia (a) zdjęcie ziaren elementów stalowych (z lewej) i ferrytu (z prawej) przed rozdrobnieniem; oraz (b) zdjęcie ziaren elementów stalowych (z lewej) i ferrytu (z prawej) po rozdrobnieniu w kruszarce walcowej;

Figura 5 przedstawia wykres przyrostu wychodu frakcji ferrytowej o wielkości ziaren 0–1 mm w zależności od czasu mielenia w młynie kulowym;

Figura 6 przedstawia wykres zawartości poszczególnych klas ziarnowych dla obciążnika ferrytowego według wynalazku (OF), oraz obciążników dostępnych na rynku magnetytowego (MP) i żelazokrzemowego (SiFe);

Figura 7 przedstawia zależność namagnesowania w funkcji natężenia pola magnetycznego dla obciążnika ferrytowego według wynalazku (a), oraz obciążników dostępnych na rynku magnetytu (b) i żelazokrzemu (c);

Figura 8 przedstawia krzywe narastania osadu dla zawiesin obciążników ferrytowych według wynalazku i dostępnego na rynku obciążnika magnetytowego o gęstości 1,5 g/cm^3 (a) i 1,8 g/cm^3 (b).

Szczegółowy opis wynalazku

Twórcy wynalazku nieoczekiwanie stwierdzili, że odzyskiwany z odpadów ferryt ma właściwości, które umożliwiają jego zastosowanie jako obciążnika cieczy ciężkich zawiesinowych. W korzystnej postaci wykonania materiał wyjściowy do wytwarzania obciążnika ferrytowego stanowi frakcja ferromagnetyczna uzyskiwana z separatora magnetycznego, który rozdziela rozdrabniane wstępnie w kruszarce młotkowej elementy odpadów elektronicznych na dwie frakcje: magnetyczną (zwaną ferromagnetyczną) i niemagnetyczną. Frakcja ferromagnetyczna, określana również jako nadawa, oprócz elementów stalowych oraz ferrytu, zawiera znaczną ilość elementów niepożądanych (tworzyw sztucznych, folii, drutów miedzianych, aluminium, itp.). Jednakże materiał wyjściowy do produkcji obciążnika ferrytowego może stanowić dowolny zawierający ferryt materiał odpadowy, korzystnie materiał zawierający powyżej 50% ferrytu, w szczególności żużel hutniczy, pyły stalownicze, popioły ze spalania węgla.

Sposób otrzymywania obciążnika ferrytowego według wynalazku z materiałów odpadowych jest oparty na procesie selektywnego kruszenia, mielenia i klasyfikacji (separacji) mechanicznej oraz separacji magnetycznej. Sposób ten zapewnia najwyższy stopień odzysku ferrytu. Przykładowe układy do prowadzenia sposobu według wynalazku przedstawiono na Fig. 1, 2 oraz 3.

Na Fig. 1 przedstawiono najprostszy układ do wytwarzania obciążnika ferrytowego z materiałów odpadowych. W układzie tym, rozdrobniona frakcja ferrytowa materiału odpadowego jest rozdzielana na przesiewaczu pokładowym o wielkości oczek sita wynoszących 1 mm, z wytworzeniem frakcji przesianej oraz produktu górnego przesiewacza. W realizacji sposobu według wynalazku do rozdzielania frakcji o różnej wielkości ziaren jako klasyfikatory mechaniczne stosowano przesiewacze pokładowe. Nie mniej jednak w sposobie według wynalazku można stosować klasyfikatory pneumatyczne, takie jak pionowy, rozpraszający, zigzag, spiralny, powietrzny stół separacyjny i tym podobne.

Rozdzielone na przesiewaczu pokładowym frakcje przesiane, tj. frakcje o wielkości mniejszej niż 1 mm, są w następnym etapie poddane rozdzielaniu w separatorze elektromagnetycznym z wędrującym polem magnetycznym, gdzie po oddzieleniu frakcji niemagnetycznej (zanieczyszczeń) pozostaje frakcja ferrytowa, stanowiąca obciążnik cieczy ciężkiej zawiesinowej. Separator elektromagnetyczny z wędrującym polem magnetycznym (określany również jako separator elektromagnetyczny z biegnącym polem magnetycznym) stanowi istotny element układu rozdzielania, ponieważ usuwa on ostatecznie niepożądane frakcje niemagnetyczne. Należy przy tym podkreślić, że w przypadku sposobu według wynalazku inne rodzaje separatorów elektromagnetycznych, na przykład separatory taśmowe, nie oddzielą zanieczyszczeń niemagnetycznych w sposób wystarczająco wydajny. W realizacji sposobu według wynalazku wykorzystano separator magnetyczny opisany w publikacji Hycnar J.J., Kochański B., Tora B., *„Otrzymywanie i właściwości pyłu magnetycznego z ubocznych produktów spalania węgli”*, Inżynieria mineralna, lipiec–grudzień 2012 r., nie mniej jednak od oddzielania zanieczyszczeń magnetycznych od drobnoziarnistego ferrytu można również wykorzystać separatory magnetyczne opisane w opisach patentowych PL59502B1, US1933995, US8715494, oraz US20130256233.

Rozdzielane na przesiewaczu pokładowym frakcje górne, tj. o ziarnach wielkości większej bądź równej 1 mm są mielone w młynie kulowym. Zamiast młyna kulowego może być wykorzystany inny młyn drobno mielący, taki jak młyn kulowy, wieżowy, żarnowy, strumieniowy, ultradźwiękowy itd. Frakcja uzyskana w wyniku zmielenia jest zawracana do przesiewacza w celu ponownego rozdziału. W układzie tym frakcja metaliczna o wielkości ziaren większej od 1 mm jest okresowo usuwana.

Układ do prowadzenia sposobu według wynalazku jest dodatkowo zaopatrzony w separator frakcji lekkiej, taki jak separator powietrzny. Jest on umieszczony na końcu przesiewacza, aby umożliwić oddzielenie drobnych frakcji niemagnetycznych (np. pyłów), ale jednocześnie umożliwić wcześniejsze odsianie drobnych frakcji ferrytu.

Opisany powyżej układ do wytwarzania obciążnika ferrytowego może być rozbudowany o dodatkowe elementy, które poprawiają wydajność sposobu oraz umożliwiają większą kontrolę nad właściwościami (np. składem ziarnowym) obciążnika ferrytowego. Przykładowy układ przedstawiono na Fig. 2. W układzie tym dodano kruszarkę walcową do której trafia wstępnie rozdzielona na przesiewaczu frakcja o ziarnach równych lub większych od 1 mm. Zamiast kruszarki walcowej możliwe jest zastosowanie w sposobie według wynalazku kruszarki stożkowej i szczękowej.

Dzięki zastosowaniu kruszarek walcowych ziarna ferrytu ulegają rozdrobnieniu, a pozostałe ziarna metali (zwłaszcza stali i aluminium) ulegają sprasowaniu, zwiększając swój rozmiar. Dzięki czemu możliwe jest ich łatwe rozdzielenie od rozdrobnionych ziaren ferrytu. Figura 4 przedstawia zdjęcie ziaren elementów stalowych (z lewej) i ferrytu (z prawej) przed rozdrobnieniem (a), oraz zdjęcie ziaren elementów stalowych (z lewej) i ferrytu (z prawej) po rozdrobnieniu w kruszarce walcowej (b).

Z kruszarki walcowej rozdrobniona frakcja trafia do przesiewacza dwupokładowego o wartościach odcięcia 4 i 1 mm. Rozdzielona tam frakcja ferrytowa o ziarnach o wielkości mniejszej od 1 mm jest kierowana następnie do separatora magnetycznego z wędrującym polem magnetycznym, frakcja ferrytowa o wielkości ziaren 1–4 mm jest kierowana do młyna kulowego w celu dalszego rozdrobnienia i ponownego skierowania do przesiewacza dwupokładowego, a frakcja o ziarnach większych niż 4 mm jest frakcją metaliczną, która jest wydzielana z układu do innych zastosowań.

Najbardziej optymalny układ do prowadzenia sposobu według wynalazku został przedstawiony na schemacie na Fig. 3. Jest to układ, który był stosowany do wytwarzania obciążnika ferrytowego według wynalazku. Na wstępie procesu materiał wyjściowy (nadawa o ziarnach 0–25 mm) podlega klasyfikacji na przesiewaczu dwupokładowym (6,3 i 1 mm) oraz separacji frakcji lekkiej. Separator frakcji lekkiej zamontowany na końcu przesiewacza, aby umożliwić wcześniejszy odsiew drobnych frakcji ferrytu (inaczej drobne ziarna ferrytu zostaną zassane przez separator). Produkt górny przesiewacza 6,3–25 mm jest rozdrabniany w kruszarce walcowej (układ I) i klasyfikowany w kolejnym przesiewaczu dwupokładowym (10 i 6,3 mm). Jak już wcześniej wskazano, wykorzystanie kruszarek walcowych jest szczególnie korzystne, ponieważ ziarna ferrytu ulegają rozdrobnieniu, a pozostałe ziarna metali ulegają sprasowaniu zwiększając swój rozmiar. W ten sposób z frakcji o uziarnieniu 6,3–25 mm uzyskano produkt 0–28 mm, z którego odsiano frakcję metaliczną 10–28 mm pozbawioną ferrytu. Frakcja 6,3–10 mm podlega kruszeniu w kruszarce walcowej w układzie II oraz klasyfikacji na przesiewaczu jednopokładowym (6,3 mm), w którym uzyskuje się frakcję metaliczną 6,3–12 mm oraz frakcję ferrytową 0–6,3 mm. Obie frakcje 0–6,3 mm z przesiewacza drugiego (układ I) i trzeciego (układ II) są łączone i zawracane do pierwszego przesiewacza (przesiewacz wyjściowy dwupokładowy 6,3 i 1 mm), na którym zostają odsiane frakcje ziarnowe 0–1 i 1–6,3 mm. Frakcja 1–6,3 mm podlega kolejnemu kruszeniu w kruszarce walcowej (układ III) i przesiewaniu na przesiewaczu dwupokładowym 4 i 1 mm. Zanieczyszczona frakcja ferrytowa 1–4 mm jest gromadzona w zbiorniku zasypowym i mielona w młynie kulowym pracującym okresowo. Po zmieleniu produkt powinien być zawracany do przesiewacza w układzie III, na którym odsiewa się frakcję ferrytową 0–1 mm i frakcję metaliczną 1–4 mm. Frakcja ferrytowa poddawana jest dalszemu procesowi separacji elektromagnetycznej w celu oczyszczenia ferrytu.

Na Fig. 3 przedstawiono też ilości procentowe frakcji w odniesieniu do materiału wyjściowego (nadawy). Sposobem realizowanym zgodnie ze schematem przedstawionym na Fig. 3 uzyskano prawie 60% ferrytu w klasie 0–1 mm przed separacją elektromagnetyczną. Po oczyszczeniu w separatorze uzyskano 55% ferrytu w stosunku do całkowitej nadawy, który to ferryt może być stosowany jako obciążnik do cieczy ciężkich zawiesinowych.

Sposób według wynalazku jest korzystny ponieważ pozwala na kontrolę wielkości uzyskiwanych ziaren. Możliwe jest również kontrolowanie ilości frakcji ferrytowej uzyskiwanej sposobem według wynalazku. Na Fig. 5 przedstawiono wykres przyrostu wychodu frakcji ferrytowej 0–1 mm w zależności od czasu mielenia, z których wynika, że z frakcji 1–4 mm kierowanej do młyna kulowego już po 10 min można odzyskać większą część ferrytu. Natomiast po upływie 30 min cały ferryt rozdrabnia się < 1 mm, co stanowi 62% ferrytu we frakcji materiału podawanej do młyna kulowego.

Sposób wytwarzania prowadzony zgodnie ze schematem przedstawionym na Fig. 3 może być prowadzony w trybie ciągłym (poza domieleniem frakcji ferrytowej 1–4 mm, jak opisano powyżej). Jednakże, w celu redukcji liczby urządzeń niezbędnych do prowadzenia sposobu według wynalazku, może być on prowadzony w sposób cykliczny (tj. okresowy). W takim wykonaniu do prowadzenia sposobu według wynalazku konieczne jest jedynie zainstalowanie jednej kruszarki walcowej, dwóch lub nawet jednego przesiewacza dwupokładowego z wymiennymi sitami, jednego młyna kulowego do pracy okresowej oraz separatora elektromagnetycznego.

Praca układu w trybie cyklicznym polega na przesianiu określonej ilości materiału na przesiewaczu, przy czym przesiewane frakcje gromadzi się w zbiornikach, a następnie każdą frakcję poddaje rozdrobnieniu i klasyfikacji w odpowiednich układach, jak przedstawiono na Fig. 3. Przy czym po przeróbce materiału w układzie I należy „przezbroić” układ w odpowiedni sposób do postaci układu II poprzez zmianę szczeliny wylotowej kruszarki walcowej oraz wymianę sit w przesiewaczu o określonych parametrach pokazanych na schemacie. Następnie poprzez odsianie produktów 0–6,3 mm układ II należy zmodyfikować do postaci układu III, w wyniku czego uzyskany produkt pośredni (frakcja ferrytowa 1–4 mm) po zgromadzeniu w zbiorniku należy poddać mieleniu w młynie kulowym w trybie okresowym. Czas mielenia w młynie powinien być dobrany w sposób empiryczny w zależności od stopnia wypełnienia młyna kulami i nadawą, wielkości uziarnienia mielników i czasu mielenia do wymaganego

uziarnienia produktów. Zmielony produkt należy przesiać w celu wydzielenia frakcji feferrytowej 0–1 mm i frakcji odpadowej (metalicznej) 1–4 mm, tak jak pokazuje to schemat z przesiewaczem w układzie III. Frakcja ferrytowa 0–1 mm, która jest zanieczyszczona kawałkami drutów miedzianych, frakcją lekką i niemetaliczną jest poddana wzbogaceniu w separatorze magnetycznym z wędrującym polem magnetycznym w celu oczyszczenia i zwiększenia udziału składników magnetycznych.

Obciążniki ferrytowe uzyskane sposobem opisanym powyżej mają właściwości zbliżone do właściwości obecnie stosowanych obciążników cieczy ciężkich, takich jak magnetytowego (MP) i żelazokrzemowego (SiFe). Fig. 6 przedstawia wykres zawartości poszczególnych klas ziarnowych dla obciążnika ferrytowego według wynalazku (OF), oraz obciążników dostępnych na rynku magnetytowego (MP) i żelazokrzemowego (SiFe). Jak zostało to przedstawione na wykresie, sposobem według wynalazku otrzymano obciążnik ferrytowy o rozkładzie wielkości ziaren zbliżonym do obecnie stosowanych obciążników MP i SiFe.

Obciążniki ferrytowe według wynalazku wykazują zbliżone właściwości magnetyczne do dostępnych na rynku obciążników MP i SiFe. Z prowadzonych przez Twórców wynalazku badań dotyczących właściwości magnetycznych obciążników ferrytowych wynika, że mają podatność magnetyczną niewiele niższą niż magnetyt przemysłowy i spełniają wymagania normy w tym zakresie. Fig. 7 przedstawia zależność namagnesowania w funkcji natężenia pola magnetycznego dla obciążnika ferrytowego według wynalazku (a), oraz obciążników dostępnych na rynku magnetytu (b) i żelazokrzemu (c).

Twórcy przeprowadzili również badania dotyczące oceny trwałości cieczy ciężkich uzyskanych z obciążników ferrytowych. Na podstawie testów sedymentacyjnych można stwierdzić, że zawiesiny wykonane z obciążnika magnetytowego i ferrytowego zachowują się podobnie. Fig. 8 przedstawia krzywe narastania osadu dla zawiesin obciążników ferrytowych według wynalazku i dostępnego na rynku obciążnika magnetytowego o gęstości 1,5 g/cm^3 (a) i 1,8 g/cm^3 (b).

Z badań nad właściwościami ferrytu wytworzonego sposobem według wynalazku wynika, że może on być stosowany jako obciążnik do cieczy ciężkich zawiesinowych. Może on być używany sam lub w kombinacji z dostępnymi obciążnikami takimi jak magnetyt.

P r z y k ł a d 1

Proces selektywnego kruszenia, mielenia i klasyfikacji sitowej

Nadawę w postaci frakcji ferromagnetycznej odpadów elektronicznych poddawano procesowi selektywnego rozdrabniania w kruszarkach walcowych, młynie kulowym oraz przesiewania frakcji ferromagnetycznej wraz z odpylaniem. Badania doprowadziły do uzyskania optymalnego schematu izolowania frakcji ferrytowej przedstawionej na Fig. 3.

W tym układzie niezbędne jest połączenie kruszarki walcowej z przesiewaczem wyposażonym w sita większe lub równe rozmiarowi dolnej granicy klasy ziarnowej nadawy. W ten sposób z nadawy o uziarnieniu 6,3–25 mm uzyskano produkt 0–28 mm, z którego odsiano frakcję metaliczną 10–28 mm pozbawioną ferrytu. Frakcja 6,3–10 mm podlega kruszeniu w kruszarce walcowej w układzie II oraz klasyfikacji na przesiewaczu jednopokładowym, w którym uzyskuje się frakcję metaliczną 6,3–12 mm oraz frakcję ferrytową 0–6,3 mm. Obie frakcje z przesiewacza drugiego i trzeciego są łączone i zawracane do pierwszego przesiewacza, na którym zostają odsiane frakcje ziarnowe 0–1 i 1–6,3 mm. Frakcja 1–6,3 mm podlega kolejnemu kruszeniu w kruszarce walcowej (układ III) i przesiewaniu na sitach 4 i 1 mm. Zanieczyszczona frakcja ferrytowa 1–4 mm jest gromadzona w zbiorniku zasypowym i mielona w młynie kulowym pracującym okresowo. Na wykresie przedstawionym na Fig. 5 przedstawiono wyniki przyrostu wychodu frakcji ferrytowej 0–1 mm w zależności od czasu mielenia, z których wynika, że z nadawy 1–4 mm kierowanej do młyna już po 10 min można odzyskać większą część ferrytu. Natomiast po upływie 30 min cały ferryt rozdrabnia się < 1 mm, co stanowi 62% ferrytu w nadawie do młyna. Po zmieleniu produkt powinien być zawracany do przesiewacza, na którym odsiewa się frakcję ferrytową 0–1 mm i frakcję metaliczną 1–4 mm. Frakcja ferrytowa poddawana jest dalszemu procesowi separacji elektromagnetycznej w celu oczyszczenia ferrytu.

P r z y k ł a d 2

Porównanie właściwości fizyko-chemicznych obciążników

Przeprowadzono badania właściwości obciążnika według wynalazku wytworzonego z frakcji ferrytowej (OF) oraz dla celów porównawczych obciążników stosowanych w przemyśle: magnetytowego (MP) i żelazokrzemowego (SiFe).

Wyniki badań wilgotności i gęstości właściwej i nasypowej przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1

Oznaczenie	Jednostka	Obciążnik		
		OF	MP	Si-Fe
Wilgotność	%	0,2	3,69	-
Gęstość	g/cm^3	4,922	5,138	7,022
Gęstość nasypowa	g/cm^3	2,36	2,40	3,47

Wyniki badania składu ziarnowego przedstawiono w Tabeli 2 oraz na Fig. 6. Należy zaznaczyć, że skład ziarnowy obciążników dobierany jest pod kątem wymagań konkretnego odbiorcy, stąd analizowane zawartości poszczególnych klas ziarnowych obciążników stosowanych w przemyśle odbiegają od tych określonych w normie. W przypadku obciążnika ferrytowego, jego przygotowanie, pozwoliło otrzymać zawartości poszczególnych klas ziarnowych zbliżonych dla obciążnika magnetytowego.

Tabela 2

Klasa ziarnowa [mm]	Jednostka	Obciążnik		
		OF	MP	Si-Fe
> 0,15	%	13,4	11,8	3,8
0,15 – 0,06	%	37,1	34,7	32,7
0,06 – 0,04	%	9,9	10,4	11,1
< 0,04	%	39,6	43,1	52,5

Przykład 3

Badanie właściwości magnetycznych obciążników ferrytowych i przemysłowych

W celu określenia właściwości magnetycznych ferrytu otrzymanego sposobem według wynalazku oraz obciążników przemysłowych: magnetytu (MP) i żelazokrzemu (SiFe) zastosowano następujące metody pomiarowe:

a) magnetometria wibrującej próbki;
b) spektroskopia moessbauerowska;
c) separacja magnetyczna.

Badania zostały przeprowadzone przy temperaturze otoczenia (20°C = 293 K).

Przy pomocy precyzyjnego magnetometru wibracyjnego przeprowadzono pomiary namagnesowania próbek w funkcji natężenia pola magnetycznego wytwarzanego przez elektromagnes. Wykresy tej zależności dla poszczególnych próbek są przedstawione na Fig. 7.

W celu odniesienia wyników do normy PN-92/G-04601 porównano wartości namagnesowania próbek SiFe, MP i OF przy natężeniu pola magnetycznego 3 kOe (co odpowiada 240 kA/m wymienionemu w normie) z wartością namagnesowania przy tym natężeniu pola dla próbki magnetytu przemysłowego (MP). W ten sposób uzyskano wartości podatności magnetycznej względnej dla tych próbek odniesionej do magnetytu. Odpowiednie wartości namagnesowania i podatności względnej zestawione są w Tabeli 3.

Tabela 3

Próbka	Natężenie pola magnetycznego H(kOe)	Namagnesowanie M(emu/g)	Podatność względna (%)
MP	3	85.2	100
SiFe	3	92.3	108
OF	3	82.5	97

Powyższe wyniki pokazują, że próbki obciążników ferrytowych otrzymanych z przerobu frakcji magnetycznej z płytek drukowanych mają podatność magnetyczną niewiele niższą niż magnetyt przemysłowy i spełniają wymagania normy w tym zakresie.

Pozostałe badania również potwierdziły odpowiednie właściwości obciążnika ferrytowego (dane nieprzedstawione).

Przykład 4

Ocena trwałości cieczy ciężkich – testy sedymentacyjne

Zawiesiny przygotowywano zgodnie z wymogami normy. Obliczoną ilość obciążnika odważono, wsypano do cylindra i zalano wodą o temperaturze 20°C tak, aby otrzymać dokładnie 0,5 dm^3 zawie-

siny. Następnie zawiesiny wymieszano i odstawiono na 30 minut w celu dokładnego zwilżenia ziaren obciążnika. Bezpośrednio przed pomiarem zawiesiny jeszcze raz dokładnie wymieszano i w momencie uruchomienia stopera rozpoczęto odczytywanie położenia granicy mętności na skali wysokości. W początkowej fazie badania odczyty wykonywano co 5 sekund, a następnie co 10 i 20 sekund. Ostatni pomiar wykonano po 4 minutach sedymentacji.

Pomiar polegał na odczytywaniu wysokości położenia granicy rozdziału pomiędzy warstwą sklarowaną wody, a warstwą zagęszczanej zawiesiny. W przypadku zawiesin, w których ta granica była niewidoczna odczytywano wysokość osadu.

Wyniki przeprowadzonych testów sedymentacyjnych przedstawiono na wykresach pokazanych na Fig. 8, które przedstawiają krzywe narastania osadu dla zawiesin o gęstości 1,5 g/cm^3 (a) i 1,8 g/cm^3 (b) obciążników ferrytowych według wynalazku (otrzymanych w wyniku mielenia przez 30, 35 i 40 min) oraz dostępnego na rynku obciążnika magnetytowego.

Analizując wyniki testów sedymentacyjnych, można stwierdzić, że zawiesiny zachowują się podobnie. Wartości zagęszczeń końcowych oraz udziałów masowych i objętościowych osadów są na tym samym poziomie (dane nieprzedstawione).

Zastrzeżenia patentowe

1. Obciążnik do cieczy ciężkiej zawiesinowej, **znamienny tym**, że obejmuje rozdrobniony ferryt o wielkości ziaren nieprzekraczającej 0,6 mm.
2. Obciążnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wielkość ziaren rozdrobnionego ferrytu nie przekracza 0,3 mm.
3. Obciążnik według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że skład ziarnowy rozdrobnionego ferrytu mieści się w następujących przedziałach: 0–15% dla klasy ziaren o wielkości powyżej 0,15 mm, 60–80% dla klasy ziaren o wielkości poniżej 0,06 mm oraz 40–50% dla klasy ziaren o wielkości poniżej 0,04 mm.
4. Obciążnik według zastrz. 3, **znamienny tym**, że skład ziarnowy rozdrobnionego ferrytu kształtuje się następująco 13,4% dla klasy ziaren o wielkości powyżej 0,15 mm, 37,1% dla klasy ziaren o wielkości w przedziale od 0,15 mm do 0,06 mm, 9,9% dla klasy ziaren o wielkości w przedziale poniżej 0,06 mm do 0,04 mm, i 39,6% dla klasy ziaren o wielkości poniżej 0,04 mm.
5. Obciążnik według dowolnego z zastrz. 1–4, **znamienny tym**, że rozdrobniony ferryt jest pozyskiwany z materiałów odpadowych, korzystnie takich jak żużle hutnicze, pyły stalownicze, popioły ze spalania węgla i odpady elektroniczne.
6. Obciążnik według zastrz. 5, **znamienny tym**, że rozdrobniony ferryt pozyskiwany jest z odpadów elektronicznych, korzystnie z płytek obwodów drukowanych, technikami selektywnego rozdrabniania i klasyfikacji mechanicznej.
7. Sposób wytwarzania obciążnika ferrytowego cieczy ciężkiej zawiesinowej polegający na rozdrabnianiu i klasyfikacji mechanicznej frakcji, **znamienny tym**, że obejmuje:
   a) klasyfikację rozdrobnionej frakcji ferrytowej materiału odpadowego na klasyfikatorze mechanicznym 0,2–2 mm, z wytworzeniem frakcji przesianej drobnej oraz frakcji grubej,
   b) rozdzielanie frakcji przesianej drobnej z etapu (a) w separatorze elektromagnetycznym z wędrującym polem magnetycznym, gdzie po oddzieleniu frakcji niemagnetycznej pozostaje frakcja ferrytowa, stanowiąca obciążnik cieczy ciężkiej zawiesinowej,
   c) rozdrabnianie otrzymanej w etapie (a) frakcji grubej z klasyfikatora 0,2–2 mm, korzystnie w młynie drobno mielącym,
   d) zawracanie otrzymanej w etapie (c) frakcji do klasyfikatora 0,2–2 mm z etapu (a), oraz
   e) ewentualnie okresowe usuwanie grubej frakcji metalicznej z klasyfikatora 0,2–2 mm.
8. Sposób według zastrz. 7, **znamienny tym**, że klasyfikator 0,2–2 mm mechaniczny z etapu (a) stanowi klasyfikator mechaniczny 1 mm.
9. Sposób według zastrz. 7 albo 8, **znamienny tym**, że w etapie (a) wyłapywana jest frakcja lekka przez separator frakcji lekkiej znajdujący się na końcu klasyfikatora.
10. Sposób według dowolnego z zastrz. 7–9, **znamienny tym**, że obejmuje dodatkowo etapy:
    (c1) w którym otrzymana w etapie (a) frakcja gruba z klasyfikatora 0,2–2 mm jest rozdrabniana w kruszarce, korzystnie kruszarce walcowej,

(c2) w którym rozdrobniona w etapie (c1) frakcja zostaje rozdzielona na klasyfikatorze dwupokładowym 2–5 mm i 0,2–2 mm z wytworzeniem trzech frakcji: najdrobniejszej przesianej frakcji ferrytowej kierowanej do separatora elektromagnetycznego z wędrującym polem magnetycznym wraz z przesianą frakcją z etapu (a), grubszej frakcji ferrytowej kierowanej do rozdrabniacza z etapu (c), oraz najgrubszej frakcji będącej frakcją metaliczną, która jest oddzielana z układu wraz z frakcją metaliczną z etapu (e),

przy czym grubsza frakcja ferrytowa otrzymana w etapie (c2) jest zawracana do stosowanego w tym etapie klasyfikatora dwupokładowego 2–5 mm i 0,2–2 mm.

11. Sposób według zastrz. 10, **znamienny tym**, że klasyfikator dwupokładowy 2–5 mm i 0,2–2 mm z etapu (a2) stanowi klasyfikator dwupokładowy 4 mm i 1 mm.
12. Sposób według dowolnego z zastrz. 7–11, **znamienny tym**, że obejmuje etap (a1), w którym otrzymana w etapie (a) frakcja gruba z klasyfikatora 0,2–2 mm jest poddawana dalszemu rozdziałowi na klasyfikatorze mechanicznym 5–8 mm, przy czym przesiana drobna frakcja jest kierowana do kruszarki z etapu (c1), a frakcja gruba jest poddawana dalszej obróbce obejmującej etapy:
    f) rozdrabniania w kruszarce, korzystnie kruszarce walcowej, frakcji grubej z klasyfikatora 5–8 mm z etapu (a1),
    g) klasyfikacji mechanicznej frakcji uzyskanej w etapie (f) na klasyfikatorze dwupokładowym 8–12 mm i 5–8 mm, przy czym frakcja z etapu (f) jest rozdzielana na trzy frakcje: najdrobniejszą przesianą frakcję ferrytową zawracaną do klasyfikatora mechanicznego 0,2–2 mm z etapu (a), grubszą frakcję ferrytową kierowaną do dalszej obróbki, oraz najgrubszą frakcję będącą frakcją metaliczną, która jest oddzielana z układu wraz z frakcją metaliczną z etapu (c2) i (e),
    h) rozdrabniania w kruszarce, korzystnie kruszarce walcowej, grubszej frakcji ferrytowej otrzymanej w etapie (g),
    i) klasyfikacji mechanicznej frakcji uzyskanej w etapie (h) na klasyfikatorze mechanicznym 5–8 mm, przy czym frakcja z etapu (h) jest rozdzielana na dwie frakcje: drobniejszą frakcję ferrytową zawracaną do klasyfikatora mechanicznego 0,2–2 mm z etapu (a) oraz grubszą frakcję, będącą frakcją metaliczną, która jest oddzielana z układu wraz z frakcją metaliczną z etapu (c2), (e) i (g).
13. Sposób według zastrz. 12, **znamienny tym**, że etap (a1) jest prowadzony na klasyfikatorze mechanicznym 6,3 mm.
14. Sposób według zastrz. 12 albo 13, **znamienny tym**, że etapy (a) i (a1) są prowadzone na jednym dwupokładowym klasyfikatorze 5–8 mm i 0,2–2 mm, korzystnie klasyfikatorze 6,3 i 1 mm.
15. Sposób według dowolnego z zastrz. 12–14, **znamienny tym**, że klasyfikator dwupokładowy 8–12 mm i 5–8 mm z etapu (g) stanowi klasyfikator dwupokładowy 10 i 6,3 mm.
16. Sposób według dowolnego z zastrz. 12–15, **znamienny tym**, że klasyfikator mechaniczny 5–8 mm z etapu (i) stanowi klasyfikator 6,3 mm.
17. Sposób według dowolnego z zastrz. 7–16, **znamienny tym**, że jest prowadzony w sposób ciągły albo cykliczny.
18. Obciążnik ferrytowy cieczy ciężkiej zawiesinowej otrzymany sposobem według dowolnego z zastrz. 7–17.
19. Zastosowanie rozdrobnionego ferrytu jako obciążnika cieczy ciężkiej zawiesinowej.
20. Zastosowanie według zastrz. 18, **znamienne tym**, że ferryt jest pozyskiwany z materiałów odpadowych, korzystnie z odpadów elektronicznych, żużli hutniczych, pyłów stalowniczych, popiołów ze spalania węgla, korzystniej z płytek obwodów drukowanych, technikami selektywnego rozdrabniania i klasyfikacji mechanicznej.

Rysunki

Fig. 1

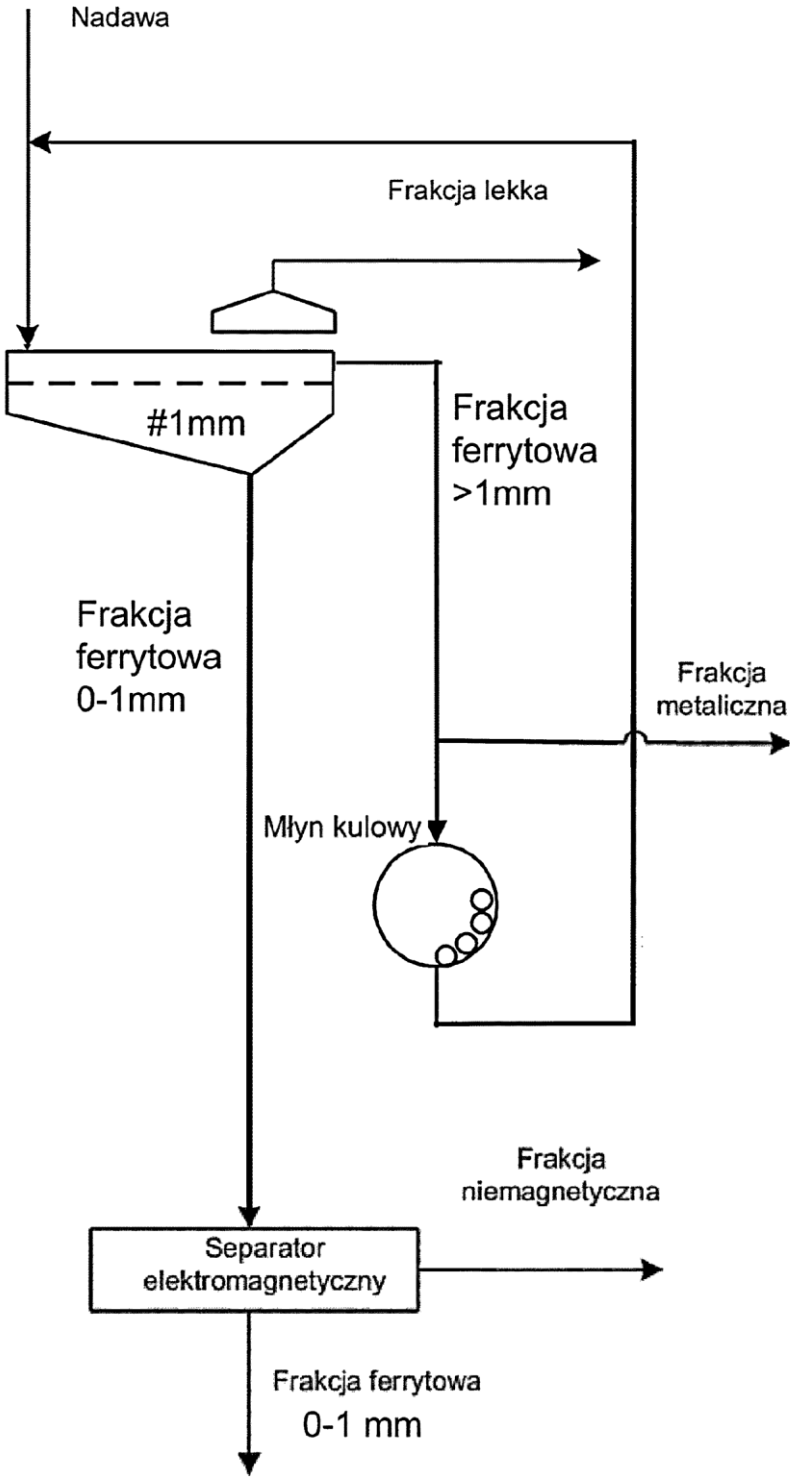


Fig. 2

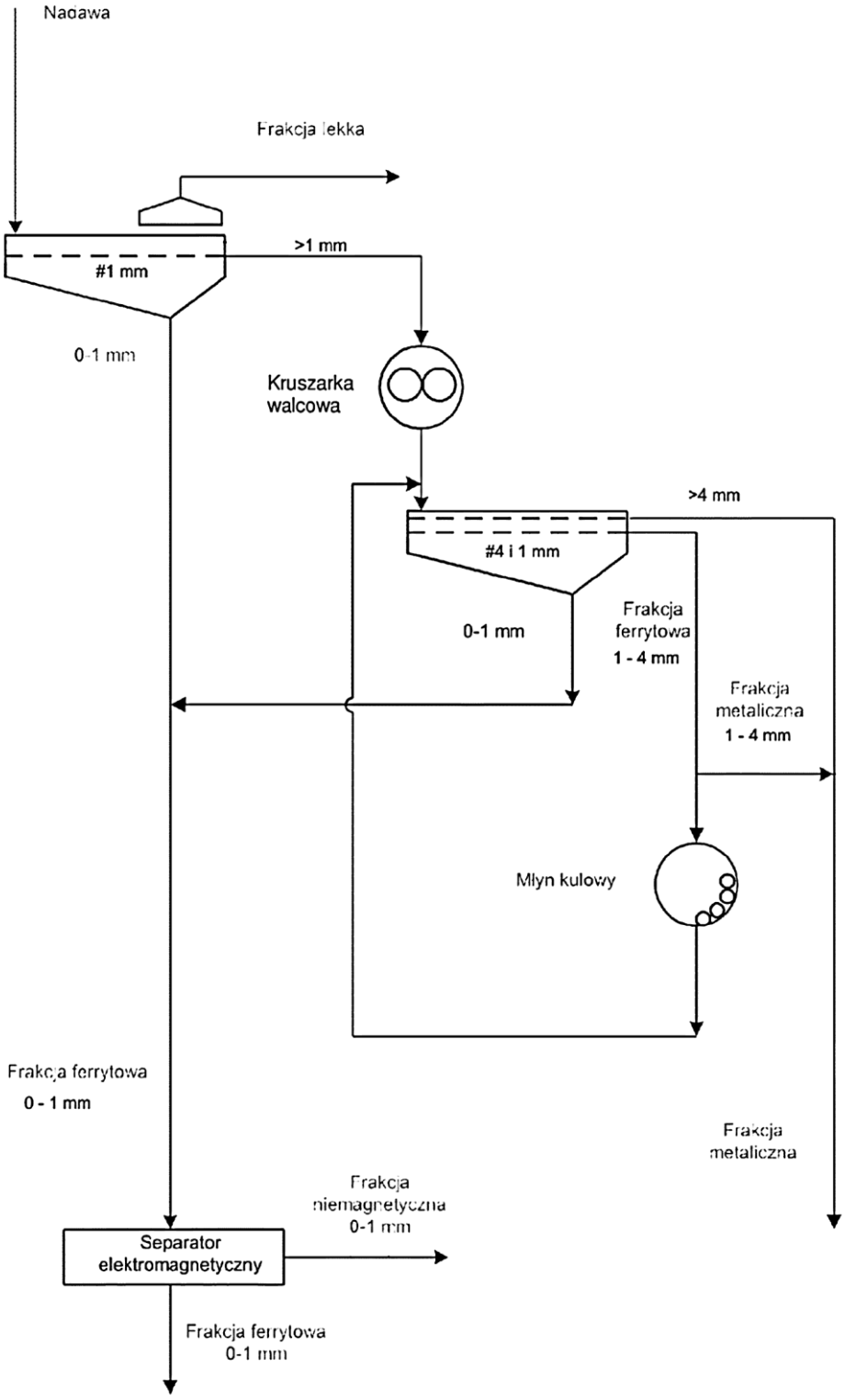

Nadawa
Frakcja lekka
#1 mm
>1 mm
0-1 mm
Kruszarka walcowa
>4 mm
#4 i 1 mm
0-1 mm
Frakcja ferrytowa
1 - 4 mm
Frakcja metaliczna
1 - 4 mm
Młyn kulowy
Frakcja ferrytowa
0 - 1 mm
Frakcja metaliczna
Frakcja niemagnetyczna
0-1 mm
Separator elektromagnetyczny
Frakcja ferrytowa
0-1 mm

Fig. 3

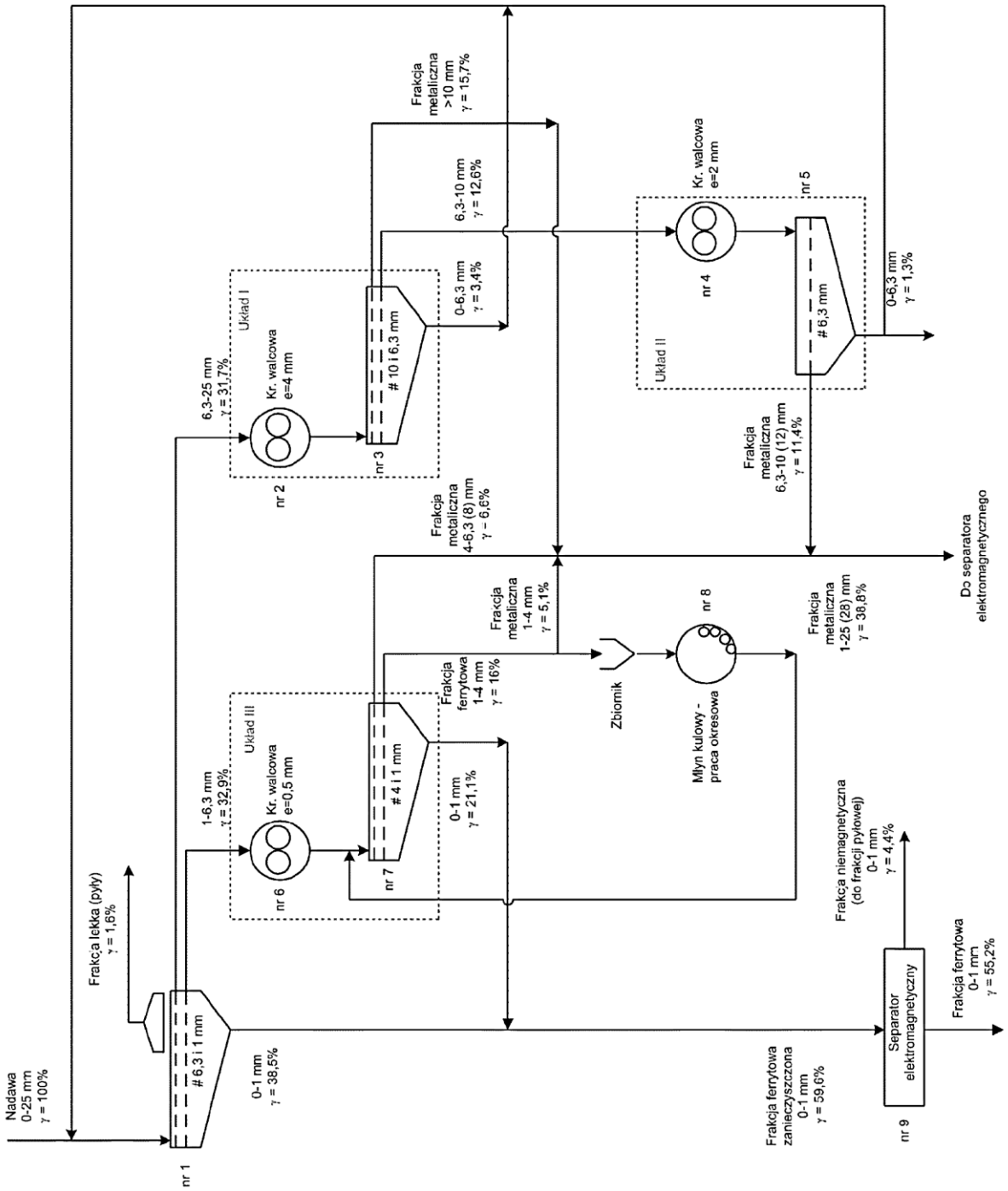
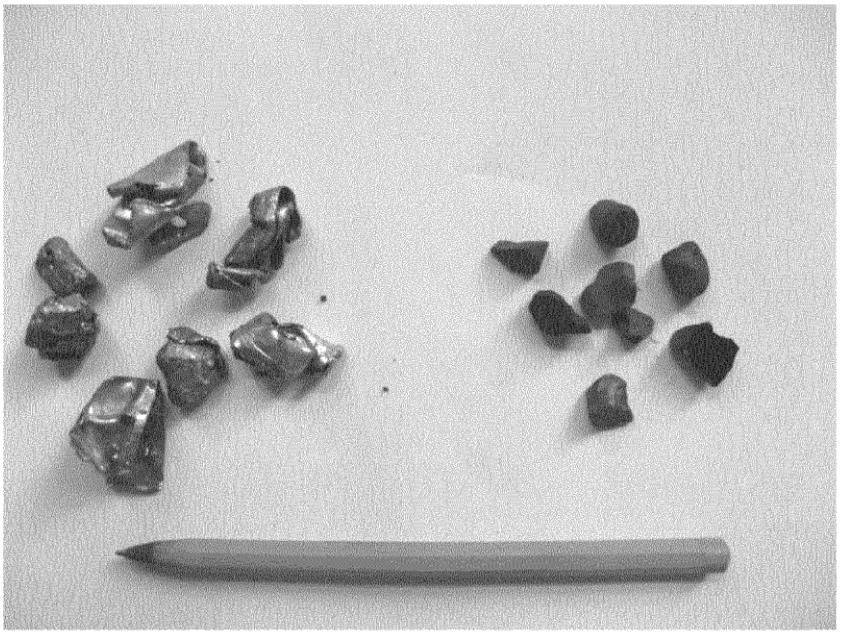

Nadawa
0-25 mm
γ = 100%
nr 1
6,3 i 1 mm
Frakcja lekka (pyły)
γ = 1,6%
0-1 mm
γ = 38,5%
Układ I
6,3-25 mm
γ = 31,7%
Kr. walcowa
e=4 mm
nr 2
nr 3
10 i 6,3 mm
Frakcja
metaliczna
>10 mm
γ = 15,7%
6,3-10 mm
γ = 12,6%
0-6,3 mm
γ = 3,4%
Układ III
1-6,3 mm
γ = 32,9%
Kr. walcowa
e=0,5 mm
nr 6
nr 7
4 i 1 mm
0-1 mm
γ = 21,1%
Frakcja
ferrytowa
1-4 mm
γ = 16%
Frakcja
metaliczna
1-4 mm
γ = 5,1%
Zbiornik
nr 8
Młyn kulowy -
praca okresowa
Frakcja
metaliczna
1-25 (28) mm
γ = 38,8%
Układ II
Kr. walcowa
e=2 mm
nr 4
nr 5
6,3 mm
0-6,3 mm
γ = 1,3%
Frakcja
metaliczna
6,3-10 (12) mm
γ = 11,4%
Frakcja
metaliczna
4-6,3 (8) mm
γ = 6,6%
Do separatora
elektromagnetycznego
Frakcja niemagnetyczna
(do frakcji pyłowej)
0-1 mm
γ = 4,4%
Separator
elektromagnetyczny
nr 9
Frakcja ferrytowa
0-1 mm
γ = 55,2%
Frakcja ferrytowa
zanieczyszczona
0-1 mm
γ = 59,6%

Fig. 4

(a)



(b)

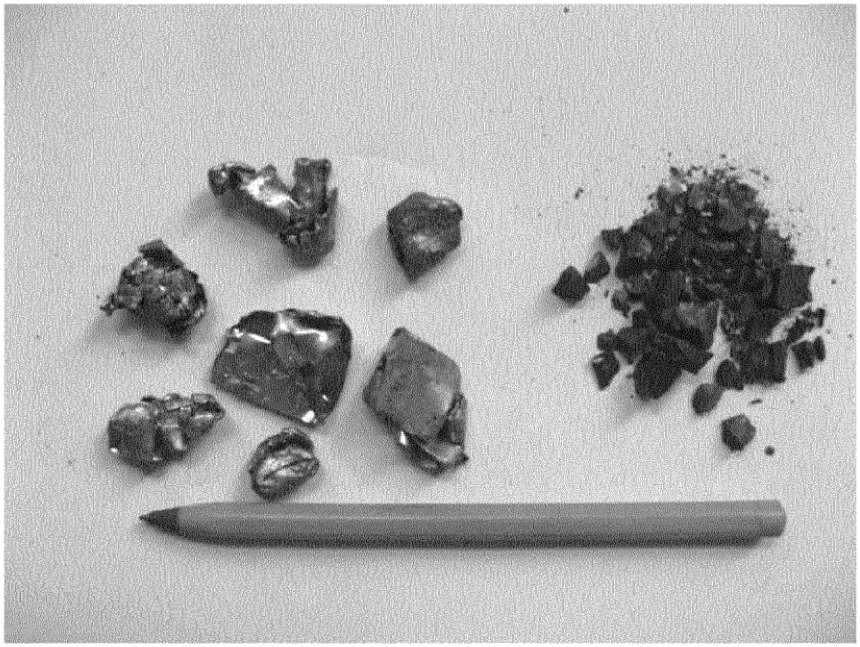


Fig. 5

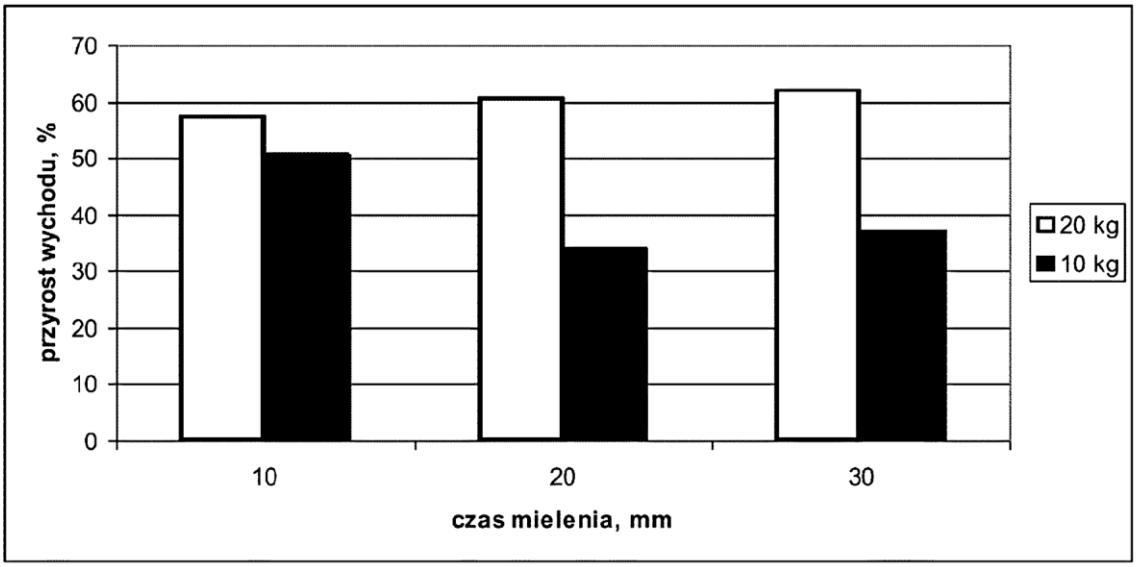

70
60
50
40
30
20
10
0
przyrost wychodu, %
10
20
30
czas mielenia, mm
20 kg
10 kg

Fig. 6

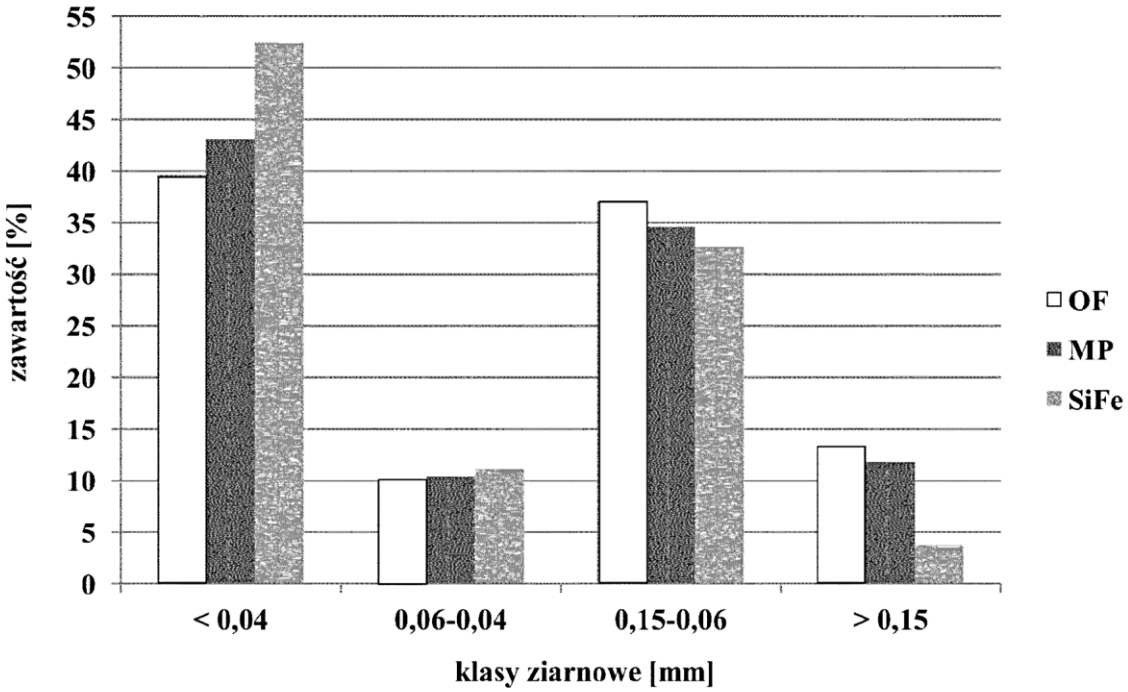
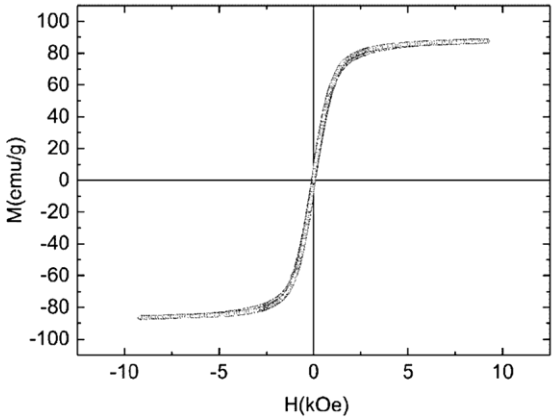
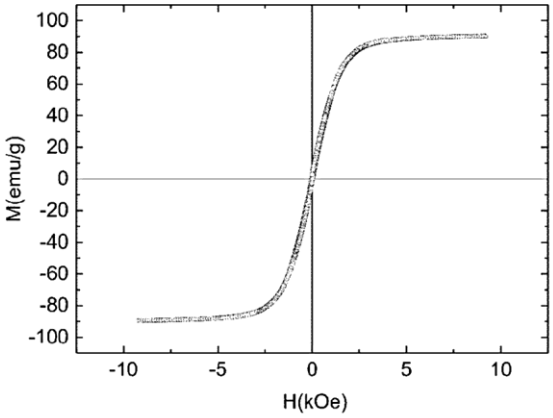

55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
zawartość [%]
< 0,04
0,06-0,04
0,15-0,06
> 0,15
klasy ziarnowe [mm]
OF
MP
SiFe

Fig. 7

(a)


M(emu/g)
H(kOe)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-10
-5
0
5
10

(b)


M(emu/g)
H(kOe)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-10
-5
0
5
10

(c)

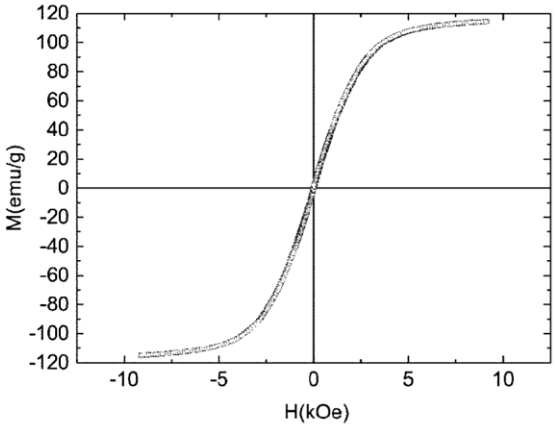
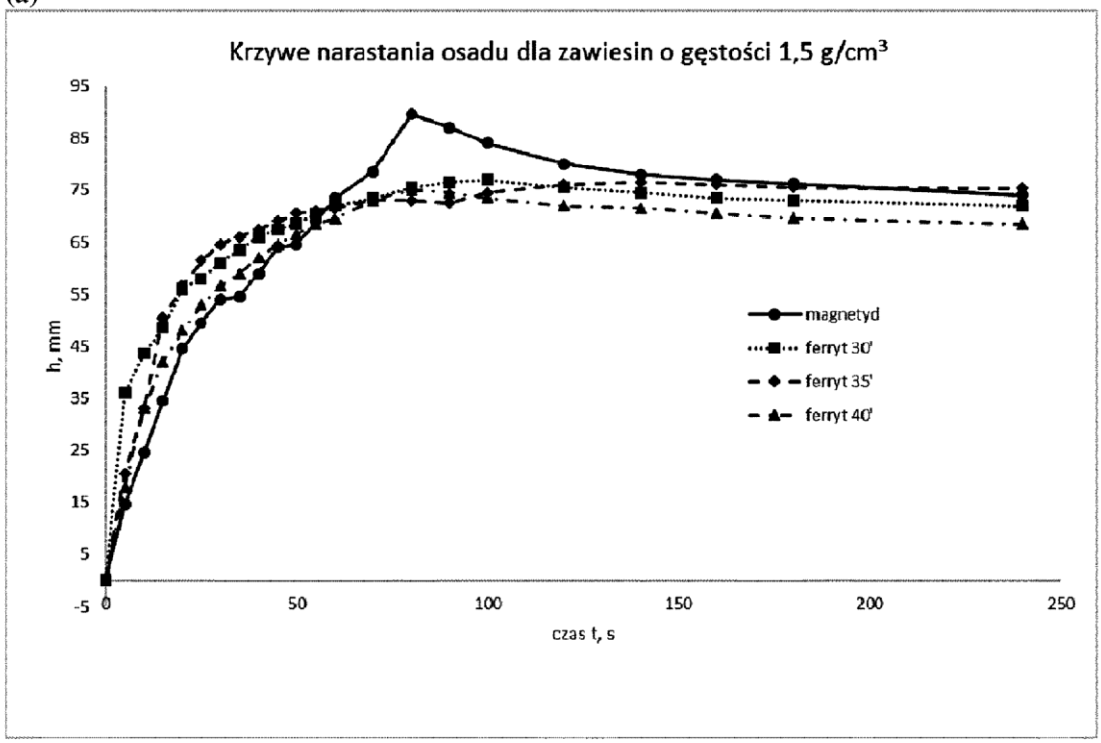
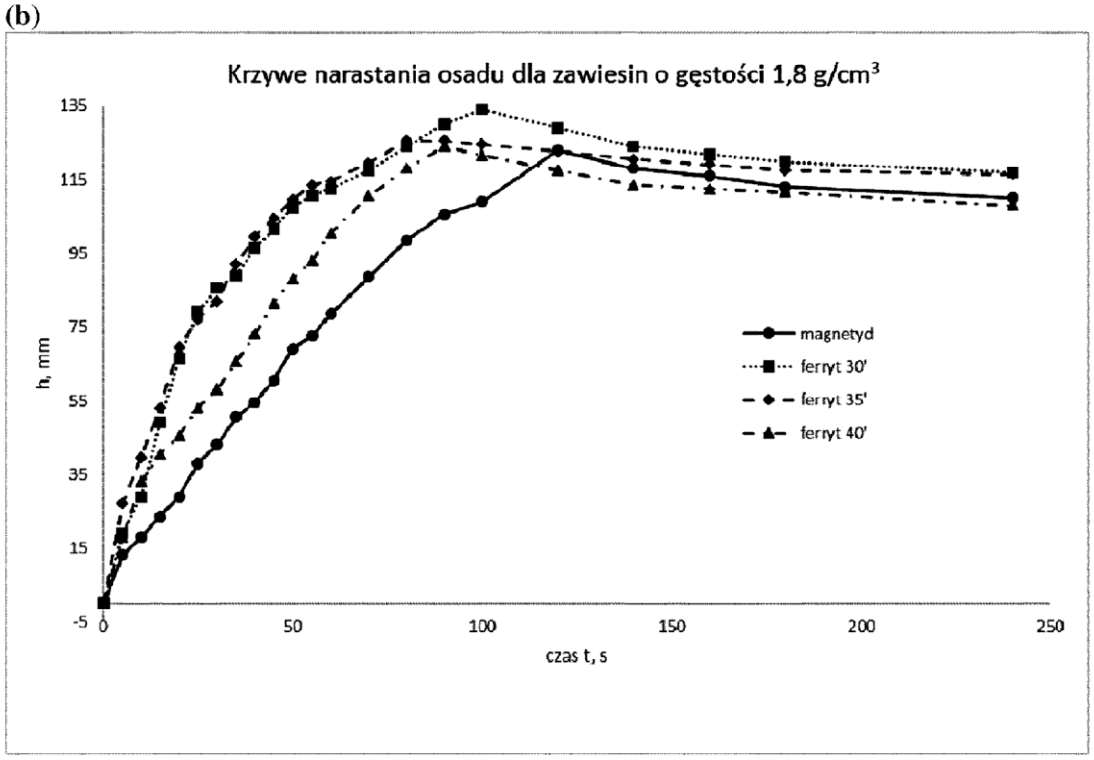

M(emu/g)
H(kOe)
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-10
-5
0
5
10

Fig. 8

(a)


Krzywe narastania osadu dla zawiesin o gęstości 1,5 g/cm³
h, mm
95
85
75
65
55
45
35
25
15
5
-5
0
50
100
150
200
250
czas t, s
magnetyd
ferryt 30'
ferryt 35'
ferryt 40'

(b)


Krzywe narastania osadu dla zawiesin o gęstości 1,8 g/cm³
h, mm
135
115
95
75
55
35
15
-5
0
50
100
150
200
250
czas t, s
magnetyd
ferryt 30'
ferryt 35'
ferryt 40'