

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Konrada Blutsteina

pt. „Pozyskiwanie wybranych surowców metalicznych z ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych”

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji jest pismo o numerze RDND08/108/2023 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej z dnia 20 lipca 2023 roku oraz Uchwała tejże Rady z dnia 12 lipca 2023 roku.

Oceniana praca została napisana pod kierunkiem Pana Prof. dr hab. Tadeusza Przylibskiego z Politechniki Wrocławskiej.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest ww. praca doktorska, obejmująca 129 stron, w tym spis treści, spis rysunków, spis tabel, zasadniczą część pracy oraz spis literatury. W pracy zamieszczono 79 rysunków i 69 tabel. Składa się ona z 9 rozdziałów. Spis literatury zawiera 49 pozycji, w tym 2 publikacje Autora.

3. Przedmiot badań i celowość podjęcia tematu pracy

Ziemia ma ograniczone złoża surowców mineralnych, które z czasem (dosyć odległym) będą się wyczerpywać co spowoduje potrzebę sięgnięcia po zasoby pozaziemskie (Księżyc, Mars, planetoidy). Z uwagi na wysokie koszty, zakres i potrzebny czas na wykonanie odpowiednich badań, tym problemem należy zająć się już teraz. Jednym z podstawowych problemów górnictwa pozaziemskiego jest, między innymi, pozyskiwanie surowców pochodzących z obiektów pozaziemskich

Przedmiotem pracy jest badanie procesów przeróbczych na materiale pochodzącym z obiektów pozaziemskich w celu pozyskania wybranych surowców metalicznych. Zbadanie przebiegu i efektów takich procesów jest celowe aby zapewnić optymalne wzbogacenie rudy chondrytowej w te surowce.

W związku z powyższym uważam, że podjęcie przez Doktoranta tematu „Pozyskiwanie wybranych surowców metalicznych z ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych” jest w pełni uzasadnione.

Cel pracy:

Celem pracy jest sprawdzenie możliwości pozyskiwania surowców metalicznych z ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych.

Tezy badawcze:

Jako tezy badawcze przyjęto, że:

- źródłem metali, które można uzyskać z planetoid będących ciałami macierzystymi chondrytów zwyczajnych są ziarna wszystkich faz mineralnych stopu FeNi; zawierają one następujące metale: Fe, Ni, Co.
- najlepszymi metodami, wzbogacania rudy chondrytowej w wymienione metale są kruszenie i mielenie w kontrolowanych warunkach oraz flotacja.

Zakres pracy:

Zakres pracy obejmuje:

- przedstawienie istniejącej wiedzy o surowcach pozaziemskich i proponowanych technologiach i technikach ich eksploatacji;
- przegląd procesów przeróbki i wzbogacania przy pozyskiwaniu metali;
- budowę i klasyfikację chondrytów zwyczajnych;
- materiały do badań (meteoryty Tamdakht i NWA6410);
- dokładny opis zastosowanych metod i urządzeń do badań eksperymentalnych oraz określenie etapów badań;
- określenie optymalnej wielkości ziarna podziałowego, przy którym odsianiu uległaby zdecydowana większość troilitu przy jednoczesnym zachowaniu możliwie największej ilości stopu FeNi.

Wyznaczenie ciągu technologicznego procesów mineralurgicznych rudy chondrytowej, przy pozyskiwaniu surowców metalicznych z chondrytów zwyczajnych (meteoryty Tamdakht i NWA 6410).

4. Charakterystyka pracy

W pracy przedstawiono badania nad pozyskiwaniem wybranych surowców metalicznych, które zostały przeprowadzone na materiale pochodzącym z dwóch meteorytów chondrytowych, będących odzwierciedleniem budowy macierzystych obiektów (planetoidy typu S):

- bogate w żelazo chondryty H (meteoryt Tamdakht);
- ubogie w żelazo chondryty L (meteoryt NWA 6410).

Zasadniczym problemem badań było wyodrębnienie stopu FeNi (źródło żelaza, niklu, kobaltu i innych metali) oraz odseparowanie od niego troilitu FeS, bogatego w siarkę.

Praca składa się z dwóch zasadniczych części – części informacyjnej (przeglądowej) – rozdziały 1-4 oraz części badawczej – rozdziały 6-8. Ponadto w rozdziale 5 przedstawiono cel i tezy pracy zaś w rozdziale 9 - wnioski.

W rozdziale 1 (wstęp) przedstawiono, między innymi, główne przyczyny powstawania i rozwoju górnictwa pozaziemskiego.

Rozdział 2 zawiera krótką charakterystykę najważniejszych surowców naturalnych na Ziemi z zaznaczeniem ich podziałów na surowce metaliczne, niemetaliczne i energetyczne, jak również na krytyczne, strategiczne i deficytowe. W dalszej części tego rozdziału przedstawiono między innymi:

- zestawienie średniej zawartości wybranych pierwiastków w skorupie ziemskiej z ich średnią zawartością w chondrytach węglistych (CI) i zwyczajnych (H, L, LL) oraz w skałach księżycowych;
- średnie wzbogacenie w wybrane pierwiastki skał macierzystych chondrytów zwyczajnych względem ich zawartości w skorupie ziemskiej;
- wskazano grupy meteorytów, których ciała macierzyste mogłyby być najlepszym źródłem wybranych pierwiastków (ich największą zawartość).

W ostatniej części tego rozdziału omówiono proponowane technologie i techniki eksploatacji zasobów pozaziemskich.

W rozdziale 3 zaprezentowano obszerny opis procesów mineralurgicznych przy pozyskiwaniu metali (rozdrabnianie, przesiewanie i wzbogacanie). Szczegółowo omówiono znane metody wzbogacania z jednoczesną oceną ich przydatności do wzbogacania rud chondrytowych.

W rozdziale 4 omówiono metody i efekty badań światowych dotyczące budowy planetoid, których celem było wytypowanie wśród nich ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych odnajdywanych na Ziemi. Opisano, między innymi, komponenty skał chondrytowych, w tym genezę i skład jednego z ich najbardziej charakterystycznych składników, jakimi są chondry. Ponadto zaprezentowano rodzaje klasyfikacji chondrytów stosowane na przestrzeni lat, począwszy od klasyfikacji Gustava Rose'a (1863) aż po współcześnie stosowaną metodę podziału Weisberga (2006) rozszerzoną, między innymi, o ustalenia typu petrograficznego, stopnia szokowego oraz stopnia wietrzenia meteorytu.

W rozdziale 5 Autor przedstawił cel i tezy pracy.

Rozdział 6 informuje o dwóch rodzajach materiału użytego do badań, pochodzących z meteorytów Tamdakht i NWA 6410, sklasyfikowanych jako chondryty zwyczajne.

Rozdział 7 w całości przeznaczono na dokładne przedstawienie zastosowanych metod i urządzeń do badań eksperymentalnych. Wyszczególniono trzy podstawowe etapy badań:

- Pierwszy etap: ustalenie składu mineralnego badanej skały wraz z określeniem wielkości ziaren stopu FeNi (cel wzbogacania) oraz wielkości ziaren troilitu (FeS) (składnika niepożądanego) i ewentualnie wielkości ziaren innych minerałów;
- Drugi etap: przygotowanie próbek do testów przeróbczych (rozdrabnianie, analiza sitowa i analiza QEMScan);
- Trzeci etap: testy przeróbcze oraz analiza mineralna i chemiczna uzyskanych koncentratów i odpadów.

Badania przeprowadzono dla próbek pochodzących z meteorytów Tamdakht i NWA 6410 oddzielnie.

W rozdziale 8 przedstawiono wyniki badań (dla obu meteorytów). Na podstawie badań mikroskopowych oraz analizy składu mineralnego i ziarnowego określono zawartość objętościową ziaren stopu FeNi oraz ziaren troilitu (FeS). Utworzono wykresy udziału ilościowego i masowego poszczególnych frakcji oraz krzywe skumulowane składu ziarnowego (dla stopu FeNi i troilitu FeS). Na podstawie tych wykresów ustalono wielkość ziarna podziałowego, przy którym odsianiu ulegałaby zdecydowana większość troilitu (FeS) przy jednoczesnym zachowaniu jak największej ilości stopu FeNi. Przedstawiono również przebieg i efekty procesu mielenia.

W dalszej części rozdziału 8 zamieszczono wyniki analizy składu mineralnego i chemicznego dla badań w mikroobszarze (dla obu meteorytów).

Kończącą część tego rozdziału poświęcono procesom wzbogacania rud chondrytowych w stop FeNi. Na podstawie wyników analizy mineralnej i bilansów separacji stopu FeNi i troilitu FeS dla rudy z chondrytu Tamdakht pokazano, że sam proces rozdrabniania połączony z analizą sitową może być wystarczającym procesem wzbogacania rud chondrytowych (koncentrat – frakcja powyżej 100 μm ; odpad – frakcja poniżej 100 μm). Analogiczne badania przeprowadzono na rudzie z chondrytu NWA 6410. Dały one nieco gorsze wyniki.

Separacja magnetyczna, separacja w cieczy ciężkiej oraz separacja na stole koncentracyjnym nie dały wystarczająco pozytywnych wyników.

Kolejnym etapem było odzyskanie stopu FeNi z frakcji poniżej 100 μm poprzez separację na drodze flotacji. Jedynie flotacja z wykorzystaniem zbieracza ksantogenianowego pozwoliła na wystarczająco dobrą separację ziaren stopu FeNi od ziaren troilitu FeS (usunięto 91-98% troilitu przy zachowaniu 73-79% stopu FeNi w tej frakcji).

Na końcu przeprowadzono analizę wzbogacania wybranych surowców metalicznych oraz siarki, możliwych do pozyskania z chondrytów zwyczajnych.

5. Podsumowanie

Recenzowana praca jest kolejnym „krokiem” w badaniach dotyczących pozyskiwania surowców metalicznych z obiektów pozaziemskich (planetoidy, Księżyc, Mars). Przedstawione wyniki są efektem wielostronnych badań laboratoryjnych z zastosowaniem różnorodnej aparatury oraz szerokiej analizy wyników tych badań, co świadczy o swobodnym poruszaniu się w temacie i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, jak również o ogólnej wiedzy teoretycznej Autora w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Cel pracy został osiągnięty a tezy pracy obronione.

Przedstawiono potencjalny ciąg technologiczny do pozyskiwania wybranych pierwiastków, co jest jednym z oryginalnych rozwiązań badanego problemu, również w sferze przyszłych zastosowań.

Praca jest napisana poprawnym językiem, w sposób jasny i zrozumiały. Układ pracy jest prawidłowy a zawartość pracy jest bogato ilustrowana tabelami, wykresami oraz zdjęciami.

Uwagi i pytania do pracy:

- zwraca uwagę stosunkowo mała ilość cytowanych publikacji (49 pozycji, w tym 2 Autora);
- czy ilość próbek użytych do badania zakresów zawartości tlenków dla krzemianów i glinokrzemianów (piroksen, skaleń, kwarc) dla meteorytu Tamdakht, jak również składników chemicznych dla fosforanów (apatyt) dla obu chondrytów, jest wystarczająca? Na jakiej zasadzie ustalono ich liczbę? Wydaje się, że na podstawie doświadczeń z próbkami około 100g ciężko jednoznacznie określić najbardziej efektywny proces przeróbczy dla tego typu skał;
- do flotacji podano wodę wodociągową. Badania podstawowe, szczególnie dla nowego, nietypowego surowca, jakimi są skały pozaziemskie powinno się wykonywać z wykorzystaniem wody dejonizowanej aby wykluczyć wpływ dodatkowego czynnika, jakim jest skład jonowy wody, co wpływa z kolei na skład jonowy mętów flotacji;
- do flotacji meteorytu Tamdakht zastosowano 50 g fazy stałej a do flotacji meteorytu NWA 6410 – 100 g. Jakimi parametrami kierowano się przy doborze gęstości zawiesiny do flotacji?;
- do konstruowania krzywej składu ziarnowego na osi OX powinno brać się górną granicę klasy ziarnowej a nie średnie ziarno. To samo dotyczy średnicy ekwiwalentnej;
- ziarno podziałowe prawidłowo określa się z krzywej rozdziału. Z krzywej składu ziarnowego można określić natomiast wartość d_T , czyli średnicę sitową, przy jakiej materiał dzieli się na górny i dolny;
- w jaki sposób wyliczono współczynnik wzbogacania „k” dla procesów rozdrabniania i rozdziału nadawy na frakcje?;

- można zauważyć niestabilność nadawy (z meteorytu) pod kątem zawartości poszczególnych pierwiastków do badań w przypadku doświadczeń na bardzo małych próbkach;
- w eksperymentach flotacji zastosowano ksantogenian. Czy stosowano tylko amyłowy ksantogenian potasu (PAX), czy próbowano także ksantogeniany innych rodzajów?;
- czy dla innego chondrytu zwyczajnego (pochodzącego z innego ciała macierzystego) zaproponowany ciąg technologiczny byłby również dobry?

Zauważono też kilka drobnych niedociągnięć redakcyjnych:

- str. 118: omyłkowo zacytowano łączny uzysk żelaza dla zbieracza aminowego (71,07%) w miejsce uzysku dla zbieracza ksantogenianowego (77,90%);
- pomyłka w numerze wzoru (jest 6.21 zamiast 8.21);
- zdarzyło się też kilka literówek.

6. Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionej przez mgr inż. Konrada Blutsteina dysertacji doktorskiej pt. *„Pozyskiwanie wybranych surowców metalicznych z ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych”* stwierdzam, że przedłożona dysertacja spełnia wymogi Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (art. 187, ust. 1 i 2, Dz. U. z 2023 roku, poz. 742 z późniejszymi zmianami) i stawiam wniosek Radzie Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

