

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
NA TEMAT: „Pozyskiwanie wybranych surowców metalicznych z ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych”

Rozprawa doktorska zatytułowana: „Pozyskiwanie wybranych surowców metalicznych z ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych” została zrealizowana w Laboratorium Nauk o Ziemi i Inżynierii Mineralnej w Katedrze Górnictwa Politechniki Wrocławskiej pod opieką promotora prof. dr hab. Tadeusza Przylibskiego.

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

Na rozprawę doktorską składa się 10 rozdziałów. W rozdziale 1. (wstęp) omówiono znaczenie górnictwa dla rozwoju cywilizacji oraz wskazano powody, dla których rozwijane jest górnictwo pozaziemskie. Najważniejszym z tych powodów jest zaspokojenie zapotrzebowania na surowce poza Ziemią, w miejscu lub w pobliżu ich wykorzystania.

W rozdziale 2. (eksploatacja surowców pozaziemskich) skupiono się na podziale surowców, określono co jest potencjalnym źródłem surowców poza Ziemią, a także omówiono technologie i techniki eksploatacji proponowane przez naukowców z innych ośrodków badawczych.

W rozdziale 3 (procesy wzbogacania i przeróbki) wykonano przegląd literaturowy znanych procesów przeróbczych, które teoretycznie mogłyby mieć zastosowanie przy przeróbce rudy chondrytowej. W rozdziale tym również omówiono powód, dla którego troilit (FeS) jest niepożądanym składnikiem rudy chondrytowej.

W rozdziale 4. (skały reprezentujące planetoidy macierzyste chondrytów zwyczajnych) dokonano charakterystyki ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych, a także opisano budowę chondrytów zwyczajnych, ich podział oraz skład mineralny i chemiczny. W rozdziale tym również zostało objaśnione, dlaczego operując na stosunkowo niewielkich próbkach skał macierzystych jakimi były badane chondryty, można wysuwać wnioski dla całych planetoid zbudowanych z tych właśnie skał. Wyjaśniono, że ponieważ budowa ciał macierzystych jest jednorodna, to dowolna próbka skały jest w pełni reprezentatywna dla całego ciała macierzystego. Z rozszerzenia badań nad tym zagadnieniem powstał artykuł naukowy, który oczekuje na przyjęcie do druku w wiodącym czasopiśmie poświęconym meteorytyce – *Meteoritics and Planetary Science*.

W rozdziale 5. (cele pracy i teza) przedstawiono cel pracy oraz hipotezę: „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. Zatem rudę chondrytową można nazwać rudą polimetaliczną. Najlepszymi metodami wzbogacenia rudy chondrytowej w wymienione metale są: kruszenie i mielenie w kontrolowanych warunkach oraz flotacja. Obiecujące mogą okazać się także: separacja w cieczy ciężkiej i separacja na stole koncentracyjnym.”

W rozdziale 6. (materiał badawczy), przedstawiono i krótko scharakteryzowano meteoryty, które zostały poddane badaniom w ramach zrealizowanego doktoratu. Były to chondryty Tamdakht (grupa H) oraz NWA 6410 (grupa L).

W rozdziale 7. (metody badań), przedstawiono metody badań przeprowadzonych w ramach pracy doktorskiej. Są to badania mikroskopowe, badania składu mineralnego oraz chemicznego w mikroobszarze, procesy przeróbcze (kruszenie oraz mielenie rudy, analiza

sitowa, separacja magnetyczna, separacja w cieczy ciężkiej, separacja na stole koncentracyjnym, flotacja), analiza mineralna produktów procesów przeróbczych (QEMScan), oraz analiza chemiczna produktów procesów przeróbczych (ICP-ES/MS, ICP-ES oraz miareczkowanie).

W rozdziale 8 (wyniki badań) przedstawiono wyniki wykonanych badań, co stanowi najważniejszą część rozprawy doktorskiej. Na podstawie analizy składu mineralnego i chemicznego wykonanej z wykorzystaniem mikros sondy elektronowej określono w których minerałach i w jakiej zawartości znajdowały się metale będące tematem rozprawy doktorskiej. Na podstawie analiz chemicznych i mineralnych po procesach przeróbczych możliwe było określenie, które procesy przeróbcze są najbardziej efektywne. Wśród tych procesów najważniejszym okazał się sam proces rozdrabniania rudy chondrytowej. Dzięki dużej różnicy podatności na rozdrabnianie minerałów w przypadku meteorytu Tamdakht (chondryt grupy H) możliwe było uzyskanie 70,30% stopu FeNi w koncentracji stanowiącym odsiane ziarna o średnicy powyżej 100 μm przy jednoczesnym uzysku FeS w koncentracji na poziomie 0,82%. Proces taki można by w tym miejscu uznać za zakończony. Uniwersalności tego procesu nie potwierdziły jednak badania wykonane na chondrycie NWA 6410, który zawierał mniejsze ziarna stopu FeNi. Uzysk FeNi wyniósł 27,80%, zaś troilitu 1,13%. W dalszej części przedstawiono wyniki dla pozostałych wykorzystanych procesów wzbogacania, z których najlepszym okazała się flotacja z wykorzystaniem zbieracza ksantogenianowego, z uwagi na najlepszy rozdział minerałów stopu FeNi od troilitu (FeS). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że po połączeniu kruszenia i mielenia rudy chondrytowej jako procesu wzbogacania z procesem flotacji daje najwyższy uzysk stopu FeNi, będącego źródłem przede wszystkim żelaza oraz niklu, ale także kobaltu. W ciągu tym dla chondrytu H Tamdakht uzyskano w sumie 93,86% stopu FeNi (77,91% Fe, 85,59% Ni oraz 95,56% Co w ogóle) przy jednoczesnym odseparowaniu 97,58% troilitu (FeS). Natomiast dla chondrytu L NWA 6410 uzyskano w sumie 80,82% stopu FeNi (74,38% Fe, 92,02% Ni oraz 90,69% Co w ogóle) przy jednoczesnym odseparowaniu 91,66% troilitu (FeS).

W rozdziale 9. (wnioski) przedstawiono wnioski z przeprowadzonych badań oraz wskazano na możliwość prowadzenia dalszych prac. Najważniejsze wnioski to możliwość zastosowania samego rozdrabniania rudy połączonego z analizą sitową jako procesu wzbogacania rudy w Fe i Ni. Odpad powstający w tym procesie można poddać dodatkowo flotacji. Procesy te pozwalają na usunięcie z rudy chondrytowej znacznej części troilitu.

W rozdziale 10. (literatura) wymieniono pozycje literaturowe wykorzystane w trakcie przygotowania rozprawy doktorskiej. Jest to w sumie 49 pozycji literaturowych – artykuły, monografie oraz recenzowane materiały konferencyjne.

Błatsten

**SUMMARY OF THE DOCTORAL DISSERTATION ON:
„Obtaining selected metallic raw materials from parent bodies of ordinary chondrites”.**

The doctoral dissertation entitled: " Obtaining selected metallic raw materials from parent bodies of ordinary chondrites " was carried out in the Laboratory of Earth Sciences and Mineral Engineering at the Department of Mining of the Wrocław University of Science and Technology under the supervision of prof. dr hab. Tadeusz Przylibski.

The aim of the work was to check the possibility of obtaining metallic raw materials from parent bodies of ordinary chondrites.

The doctoral dissertation consists of 10 chapters. Chapter 1 (introduction) discusses the importance of mining for the development of civilization and indicates the reasons for the development of extraterrestrial mining. The most important of these reasons is to meet the demand for raw materials outside the Earth, at or near the place of their use.

Chapter 2 (exploitation of extraterrestrial resources) focuses on the division of resources, determines what is a potential source of resources outside Earth, and discusses technologies and techniques of exploitation proposed by scientists from other research centres.

Chapter 3 (enrichment and processing processes) presents a literature review of known processing processes that theoretically could be used in the processing of chondrite ore. This chapter also discusses the reason why troilite (FeS) is an undesirable constituent of chondrite ore.

Chapter 4 (rocks representing parent asteroids of ordinary chondrites) characterizes parent bodies of ordinary chondrites, and describes the structure of ordinary chondrites, their division, and their mineral and chemical composition. This chapter also explains why, by operating on relatively small samples of parent rocks, which were the studied chondrites, conclusions can be drawn for entire asteroids built of these rocks. It was explained that because the structure of the parent bodies is homogeneous, any rock sample is fully representative of the entire parent body. Expanding research on this issue has resulted in a scientific paper that is awaiting publication in the leading meteorites journal - Meteoritics and Planetary Science.

Chapter 5 (aims and thesis) presents the aim of the work and the thesis: "The source of metals that can be obtained from asteroids, that are parent bodies of ordinary chondrites, are grains of all mineral phases of the FeNi alloy. They contain the following metals: Fe, Ni, Co. Thus, chondrite ore can be called polymetallic ore. The best methods of enriching chondrite ore with these metals are crushing and grinding under controlled conditions and flotation.”.

Chapter 6 (research material) presents and briefly characterizes the meteorites that were studied as part of the doctoral dissertation. These were the Tamdakht (Group H) and NWA 6410 (Group L) chondrites.

In chapter 7 (research methods), the research methods used as part of the doctoral dissertation are presented. These are microscopic studies, studies of mineral and chemical composition in a micro-area, processing processes (crushing and grinding of ore, sieve analysis, magnetic separation, separation in heavy liquid, separation on a concentration table, flotation), mineral analysis (QEMScan) and chemical analysis (ICP-ES/MS, ICP-ES, and titration) of products from processing processes.

Chapter 8 (research results) presents the results of the performed research, which is the most important part of the doctoral dissertation. Based on the analysis of the mineral and chemical composition made with the use of an electron microprobe, it was determined in which

minerals and in what content the metals that were the subject of the doctoral dissertation were. Based on chemical and mineral analysis after ore processing, it was possible to determine which processing processes are the most effective. Among these processes, the process of chondrite ore grinding turned out to be the most important. Due to the large difference in the susceptibility to crushing of minerals in the case of the Tamdakht meteorite (group H chondrite), it was possible to obtain 70.30% FeNi alloy in the concentrate consisting of sifted grains with a diameter of more than 100 μm , with a simultaneous FeS recovery in the concentrate of 0.82%. This process can be considered complete at this point. However, the universality of this process was not confirmed by tests performed on the NWA 6410 chondrite, which contained smaller FeNi alloy grains. FeNi recovery was 27.80%, and troilite recovery was 1.13%. Then, the results for the remaining enrichment processes were presented, the best of which turned out to be flotation using a xanthate collector, due to the best separation of FeNi alloy minerals from troilite (FeS). Based on the conducted research, it was found that after combining chondrite ore crushing and grinding as the enrichment process with the flotation process, it gives the highest recovery of the FeNi alloy, which is the source of iron and nickel, but also cobalt. In this sequence, a total of 93.86% FeNi alloy (77.91% Fe, 85.59% Ni and 95.56% Co total) was obtained for the Tamdakht ordinary H chondrite, while 97.58% of the troilite (FeS) was separated. On the other hand, for ordinary L chondrite NWA 6410, a total of 80.82% of the FeNi alloy was obtained (74.38% Fe, 92.02% Ni and 90.69% Co in general) with the simultaneous separation of 91.66% of the troilite (FeS).

Chapter 9 (conclusions) presents conclusions from the conducted research and indicates the possibility of further work. The most important conclusions are the possibility of using ore grinding alone combined with sieve analysis as a process of ore enrichment in Fe and Ni. The waste generated in this process can be additionally subjected to flotation. These processes allow the removal of a significant amount of troilite from the chondrite ore.

Chapter 10 (literature) lists the literature used in the preparation of the doctoral dissertation. It is a total of 49 literature items - articles, monographs, and reviewed conference materials.

Blutstein