

DEVELOPMENT OF A BENEFICIATION TECHNOLOGY FOR MIXED ORE FROM PORPHYRY-COPPER DEPOSITS

Teodora Yankova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: teodora.qnkova@mgu.bg

ABSTRACT. This article focuses on the results obtained from laboratory technological studies carried out for the beneficiation of mixed (sulphide-oxide) ores from a porphyry-copper deposit. A selective-bulk flotation flowsheet is developed and presented for the sulphide-oxide copper ores from the porphyry-copper deposit. The technological study results show that the utilisation of useful components is possible and copper and pyrite concentrate production is effective. Finally, conclusions and summaries are presented.

Key words: beneficiation, sulphide-oxide ores, porphyry-copper deposits.

РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОБОГАТЯВАНЕ НА СМЕСЕНА РУДА ОТ МЕДНОПОРФИРНО НАХОДИЩЕ

Теодора Янкова,

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Настоящата разработка представя резултатите от проведените технологични изследвания за обогатимост на смесена (сулфидно-оксидна) руда от меднопорфирно находище. Разработена и представена е колективно-селективна схема на флотация на смесените сулфидно-оксидни руди от меднопорфирното находище, която позволява комплексното оползотворяване на полезните компоненти, получавайки меден и пиритен концентрати.

Ключови думи: обогатяване, сулфидно-оксидни руди, меднопорфирни находища.

Въведение

Над 60% от световното производство на мед е от руди, добити от меднопорфирни находища. Наред с медта в тези находища са налични и множество други ценни метали, като: злато, сребро, молибден, платина, паладий, селен, телур, бисмут, кобалт, никел (Токмачиева, 2002). Много от тях могат да се появят в едно и също находище в различни пропорции и на различни дълбочини. Този факт силно затруднява тяхното проучване и изследване. Медта е стратегическа суровина от първостепенно значение за зеления и цифров преход и в бъдеще търсенето на мед ще продължи да нараства и да се запълва, чрез откриване на нови находища, поради което много полезни на този етап от изследванията са геофизичните методи (Томова, 2023).

Както споменава Григорова (2020), разнородният характер на скалните разновидности усложнява минно-добивния процес, като създава трудности основно при раздробяването на рудната маса. За изучаване на характеристиките на находището и детайлното картиране на скалните разновидности е подходящо и сравнително лесно приложимо да се използват геофизични методики, базиращи се на разликата във физичните свойства на рудните минерали с различен състав и вместиращите ги скали. Ниското съдържание на метали в меднопорфирните находища се компенсира от големите им размери, както и от наличието на други ценни съпътстващи компоненти и извършвания по открит способ добив. Според Tabelin и колектив (2021) меднопорфирните руди и електронните отпадъци са двата най-важни ресурса на мед на планетата (Tabelin et al., 2021).

В настоящата разработка се привеждат резултати от извършените технологични изследвания за обогатяване на сулфидно-оксидна медна руда от меднопорфирно находище. Подготовката на представителна проба и

изследванията за разработване на технология за обогатяване са извършени в лабораториите на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“.

Представената за изследване на обогатимост технологична проба характеризира смесена сулфидно-оксидна руда от прожилково впръснат тип. Основен ценен компонент в рудата е медта със съдържание 0.554 %. Като съпътстващ компонент с промишлено значение е пиритната сяра – 1.27 %. Молибденът поради ниското му съдържание – 0.0029 % на този етап не представлява промишлен интерес. Медта е представена от халкопирит (55.40 % от общата мед) вторични медни минерали – халкоцит и ковелин (23.74 % от общата мед) и малахит – 19.78 % от медта (Янкова, 2023).

Резултатите от проведените изследвания за смиланост на рудната проба и определеният енергиен индекс на Бонд показват, че смесената сулфидно-оксидна руда е лесно смилана (Янкова, Григорова, 2023).

Методи и материали

Проведените технологични флотационни изследвания по обогатимост доказват, че с колективно-селективна схема на флотация за обогатяване на сулфидно-оксидните руди от меднопорфирното находище се постигат високи технологични показатели за този тип руди (Yankova, Dimitrov, Grigорова, 2023).

Колективно-селективната схема на обогатяване включва следните операции: смилане на рудата до 65% класа „- 0.080 mm“; основна колективна флотация; пречистна флотация; контролна пречистна флотация; досмилане на колективния Cu-Py концентрат до 85% класа „- 0.080 mm“; основна и контролна медна флотация; две последователни пречистни флотации за получаване на меден концентрат; съгъстяване на отпадъка от медна

флотация до 40% тв.; агитация; разреждане до 20% тв.; основна и контролна пиритна флотация; две последователни пречистни флотации за получаване на пиритен концентрат. В таблица 1 са представени данни от химичния анализ на представителната рудна проба.

Таблица 1. Химичен състав на рудата от технологжката проба (Янкова, 2023)

| Компоненти | Съдържание (%) |
|--------------------------------|----------------|
| Cu | 0.554 |
| S | 1.27 |
| Mo | 0.0029 |
| Zn | 0.0051 |
| Pb | 0.0005 |
| As | 0.0003 |
| Sb | <0.0005 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.80 |
| SiO ₂ | 75.75 |
| Al ₂ O ₃ | 11.78 |
| CaO | 0.89 |
| MgO | 0.95 |
| Na ₂ O | 2.35 |
| K ₂ O | 3.55 |
| C | 0.02 |
| Ag | <1 g/t |
| Au | <0.05 g/t |
| ЗПН | 3.16 |

Основният ценен компонент в рудата е медта – 0.554%. Рудната проба се характеризира с относително

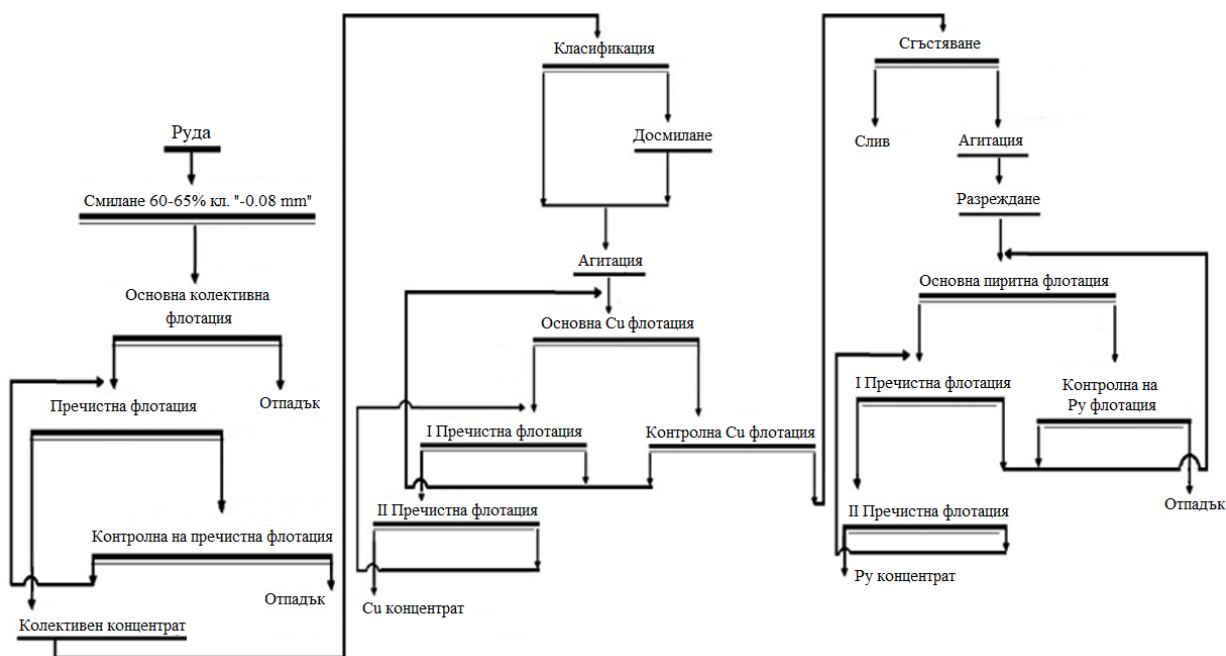
високо съдържание на мед. Като съпътстващ компонент с промишлено значение е установена пиритна сяра – 1.27%. Съдържанията на молибден и злато в рудата са много ниски, съответно Mo – 0.0029% и Au - под 0.05 g/t. Фазовият анализ на медта показва следното разпределение на медните минерали: 19.78% от медта е под формата на т.н. окисна свободна мед; медта под формата на вторични сулфиди възлиза на 23.74%; 55.40% от медта е представена от първични медни сулфиди.

Първичната сулфидна мед е представена от халкопирит. Вторичната сулфидната мед е представена основно от халкоцит и ковелин и в незначително количество борнит. Оксидната свободна мед е представена основно от малахит (Янкова, 2023).

Резултати и дискусия

Проведени са технологични изследвания с цел разработване на технология за извличане на мед и пирит в самостоятелни концентрати от смесени сулфидно-оксидни руди от меднопорфирно находище.

Въз основа на получените резултати от изследванията по обогатимост е разработена технология за получаване на меден концентрат и пиритен концентрат от смесени сулфидно-оксидни медни руди. На фигура 1 е представена схема за обогатяване на сулфидно-оксидните руди от меднопорфирното находище.



Фиг. 1. Схема за обогатяване на сулфидно-оксидни руди от меднопорфирно находище

Таблица 2 представя технологичните показатели на колективно-селективната схема за обогатяване на смесените сулфидно-оксидни руди.

В таблица 3 са представени данни от химичния анализ на получения меден концентрат, а таблица 4 показва данни от проведения зърнометричен анализ, с разпределение на полезните компоненти по класи на медния концентрат.

Таблица 2. Технологични показатели за обогатяване на сулфидно – оксидни руди

| Продукти | Добив, % | Съдържание, % | | Извличане, % | |
|--------------------|----------|---------------|-------|--------------|-------|
| | | Мед | Сяра | Мед | Сяра |
| Меден концентрат | 1.81 | 24.64 | 28.20 | 80.21 | 40.19 |
| Пиритен концентрат | 1.32 | 0.27 | 45.26 | 0.64 | 47.10 |
| Отпадък | 96.87 | 0.11 | 0.167 | 19.15 | 12.71 |
| Руда | 100 | 0.556 | 1.27 | 100 | 100 |

Таблица 3. Химичен състав на меден концентрат от обогатяването на смесена сулфидно-оксидна руда

| | | | | |
|------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Продукт | Cu, % | Mo, g/t | Au, g/t | S, % |
| Меден концентрат | 24.65 | 844 | 0.54 | 28.30 |
| Продукт | C, % | Na ₂ O, % | MgO, % | Al ₂ O ₃ , % |
| Меден концентрат | 0.21 | 0.65 | 0.45 | 6.52 |
| Продукт | SiO ₂ , % | P ₂ O ₅ , % | K ₂ O, % | CaO, % |
| Меден концентрат | 10.65 | 0.39 | 1.40 | 0.72 |
| Продукт | TiO ₂ , % | Fe ₂ O ₃ , % | ЗПН, % | |
| Меден концентрат | 0.18 | 34.48 | 1.82 | |

Таблица 4. Ситов анализ с разпределение на полезните компоненти по класи на меден концентрат от обогатяването на смесена сулфидно-оксидна руда

| Класи, mm | Добив, % | | Съдържание, % | | Разпределение, % | |
|----------------|----------|---------|---------------|-------|------------------|--------|
| | Частен | Сумарен | Мед | Сяра | Мед | Сяра |
| +0.10 | 7.20 | 7.20 | 10.96 | 28.70 | 3.18 | 7.31 |
| -0.10 + 0.080 | 12.35 | 19.55 | 18.71 | 28.06 | 9.31 | 12.22 |
| -0.08 + 0.063 | 20.25 | 39.80 | 16.62 | 28.06 | 13.56 | 20.04 |
| -0.063 + 0.040 | 23.40 | 63.20 | 27.53 | 28.26 | 25.96 | 23.32 |
| -0.040 + 0.025 | 12.20 | 75.40 | 32.18 | 29.47 | 15.82 | 12.68 |
| -0.025 + 0.010 | 15.90 | 91.30 | 33.45 | 30.77 | 21.43 | 17.25 |
| -0.010 | 8.70 | 100.00 | 30.64 | 23.40 | 10.74 | 7.18 |
| Сума | 100.00 | - | 24.82 | 28.36 | 100.00 | 100.00 |

В таблица 5 са представени данни от химичния анализ на получения пиритен концентрат, а в таблица 6 са представени данни от проведения зърнометричен анализ, с разпределение на полезните компоненти по класи на пиритния концентрат.

Таблица 5. Химичен състав на пиритен концентрат от обогатяването на смесена сулфидно-оксидна руда

| | | | | |
|--------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Продукт | Cu, % | Mo, g/t | Au, g/t | S, % |
| Пиритен концентрат | 0.27 | 86 | - | 45.20 |
| Продукт | C, % | Na ₂ O, % | MgO, % | Al ₂ O ₃ , % |
| Пиритен концентрат | - | 0.68 | 0.25 | 6.47 |
| Продукт | SiO ₂ , % | P ₂ O ₅ , % | K ₂ O, % | CaO, % |
| Пиритен концентрат | 6.83 | 0.25 | 0.72 | 0.86 |
| Продукт | TiO ₂ , % | Fe ₂ O ₃ , % | ЗПН, % | |
| Пиритен концентрат | 0.65 | 55.36 | - | |

Таблица 6. Ситов анализ и разпределение на полезните компоненти по класи на пиритен концентрат от обогатяването на смесена сулфидно-оксидна руда

| Класи, mm | Добив, % | | Съдържание, % | | Разпределение, % | |
|----------------|----------|---------|---------------|-------|------------------|--------|
| | Частен | Сумарен | Мед | Сяра | Мед | Сяра |
| +0.125 | 1.26 | 1.26 | - | - | - | - |
| -0.125 + 0.080 | 19.72 | 20.93 | 0.270 | 36.94 | 21.59 | 17.12 |
| -0.080 + 0.063 | 9.97 | 30.96 | 0.231 | 46.06 | 8.79 | 10.17 |
| -0.063 + 0.040 | 33.51 | 64.46 | 0.212 | 47.57 | 27.09 | 35.30 |
| -0.040 + 0.025 | 18.49 | 82.95 | 0.212 | 48.53 | 14.95 | 19.87 |
| -0.025 | 17.05 | 100.00 | 0.424 | 46.46 | 27.58 | 17.54 |
| Сума | 100.00 | - | 0.262 | 45.16 | 100.00 | 100.00 |

Заклучение

Разработената колективно-селективна схема на флотация на смесените сулфидно-оксидни руди от меднопорфирно находище позволява комплексното оползотворяване на полезните компоненти, с получаването на меден и пиритен концентрати. Проведените технологични флотационни изследвания доказват, че с тази схема на обогатяване на смесени сулфидно-оксидни руди се постигат високи технологични показатели за този тип руди. По разработената колективно-селективна схема на флотация, включваща схема в открит цикъл на колективна флотация, медно-пиритна селекция и пиритна флотация са получени следните крайни продукти и технологични показатели: меден концентрат със съдържание на мед 24.64 % и сяра 28.20 %, при извличане на медта 80.21 % и на сярата 40.19 %; пиритен концентрат със съдържание на сяра 45.26 % и извличане от общата сяра 47.10 %.

Литература

- Григорова, М. (2020). Геофизични методи при решаване на инженерно-геоложки задачи свързани с повишаване ефективността в условията на открит рудник „Хан Крум“, *Геология и минерални ресурси*, 6-7, 3-9.
- Токмачиева, М. (2002). Ценни съпътстващи компоненти в състава на българските медно-порфирни находища, *Годишник на МГУ, том 45, свитък I, Геология*, София, 69-74.
- Янкова, Т. (2023). Веществен състав на смесен тип сулфидно-оксидни руди от меднопорфирно находище, *Годишник на МГУ, том 66, София*, ISSN 2738-8808 (print), ISSN 2738-8816 (online), (83-86). <https://zenodo.org/records/8334150>
- Янкова, Т., Григорова, И. (2023). Физико-механични свойства на смесен тип сулфидно-оксидна руда от меднопорфирно находище, *Годишник на МГУ, том 66, София*, ISSN 2738-8808 (print), ISSN 2738-8816 (online), (87-90). <https://zenodo.org/records/8334162>.
- Tabelin, C. B., Park, I., Phengsaart T., Jeon, S., Villacorte-Tabelin, M., Alonzo, D., Yoo, K., Ito, M. & Hiroyoshi, N. (2021). Copper and critical metals production from porphyry ores and E-wastes: A review of resource availability, processing/recycling challenges, socio-environmental aspects, and sustainability issues, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 170, Article e 105610. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105610>.
- Tomova, M. (2023). Possibilities of geophysical methods for monitoring an integrated mine waste facility, *Annual of the UMG, vol. 66, Sofia, Bulgaria* (180-185). <https://zenodo.org/records/8334672>.
- Yankova, T., Dimitrov, L., Grigorova, I. (2023). Beneficiation of sulfide-oxide ore from a porphyry – copper deposit – technological investigations, *Proceedings of XIX Balkan Mineral Processing Congress, May 28-31, 2023, Prishtine, Kosovo 2023*, pp. 265-270, ISBN 978-9951-9138-0-5.