

Janusz Wójtowicz
Instytut Metali Nieżelaznych
Gliwice

KIERUNKI DOSKONALENIA PROCESÓW WZBOGACANIA RUD MIEDZI LGOM-u Z UWZGLĘDNIENIEM SPECYFIKI TYCH RUD

1. Charakterystyka rudy

Rudy miedzi Lublińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego mimo siarczkowego charakteru nie należą do łatwowzbogacalnych. Wynika to zarówno z bardzo drobnego okruszczowania, jak też ze specyficznych własności skały płonnej. Siarczki miedzi występują w trzech warstwach litologicznych: piaskowcach, wapieniach oraz ilasto-bitumicznych łupkach. Każda z tych warstw posiada zróżnicowane własności fizyczne i chemiczne, wymaga zatem różnych warunków procesu wzbogacania. Najłatwiej wzbogacalną rudą okazała się ruda piaskowcowa co wynika z tego, że minerały użyteczne występują wyłącznie w lepiszczu spajającym ziarna kwarcu. Dzięki temu ruda piaskowcowa wymaga tylko takiego stopnia rozmielenia, które uwalnia ziarna kwarcu tj. poniżej 0,3 mm, gdyż w tych warunkach następuje niemal zupełne uwolnienie minerałów miedzi. Flotacja ich zachodzi łatwo, w czasie ok. 10 min. można osiągnąć ponad 90% uzysku przy wysokiej zawartości miedzi w koncentracie. Ruda wapienna wymaga znacznie drobniejszego przemiatu ze względu na licznie występujące drobne wpryśnięcia minerałów miedzi. Końcowe uziarnienie rudy do flotacji winno być praktycznie poniżej 0,075 mm. Wskutek występowania znacznych ilości minerałów ilastych, czasy flotacji rudy wapiennej są długie (do 60 min.), a zużycie odczynników znaczne. Jednak przy zapewnieniu odpowiednio drobnego przemiatu i pozostałych parametrów flotacji możliwe jest osiągnięcie z rudy wapiennej stosunkowo wysokich uzysków (do 90%) przy jakościowo dobrych koncentratkach.

Ruda łupkowa jest najbardziej skomplikowaną, zarówno pod względem składu skały płonnej jak też mineralizacji składników użytecznych.

Ziarna siarczków mają często wymiary mikronowe i w zasadzie praktycznie nie następuje całkowite uwolnienie minerałów miedzionośnych. Skała płonna zawiera znaczne ilości łtów oraz substancji organicznych nadających większości skały własności hydrofobowe. Wskutek tego wychody koncentratów flotacyjnych są znaczne (do 50%), co jednak wcale nie pociąga za sobą niskich zawartości miedzi w odpadach, wskutek występowania znacznych ilości zrostów. Zużycie odczynników w przypadku flotacji rudy łupkowej jest także znaczne. Ponadto ruda ta obdarzona jest jeszcze jedną cechą utrudniającą osiągnięcie wysokich wskaźników wzbogacania. Mianowicie wskutek warstwowej budowy, rozdrobnienie jej prowadzi do wydzielenia znacznych ilości blaszkowatych ziarn, które podczas klasyfikacji mimo znacznych rozmiarów (ok. 0,3 mm) i zawartości wyprysnięć siarczków miedzi wykazują tendencje przechodzenia do produktu drobnego. Ziarna te w procesie flotacji przedostają się do odpadów powiększając straty miedzi.

Dodatkowym utrudnieniem procesu wzbogacania jest występowanie obok siebie dwóch lub trzech warstw litologicznych. I tak w kopalni Lubin i Rudna ok. 60-70% stanowi ruda piaskowcowa, pozostała część to wapienie i łupki. W kopalni Polkowice udział rudy wapiennej dochodzi do 80%, pozostała część to łupki. Piaskowiec występuje w minimalnych ilościach.

W tych warunkach pierwsze opracowania technologii wzbogacania rud miedzi LGOM zakładały drobny przemiał całości rudy w układach wielostadialnych mielenia współpracujących z wielokrotną klasyfikacją i stadialną flotacją. Miało to na celu zapewnienie dokładnego uwolnienia minerałów użytecznych, z jednoczesnym zabezpieczeniem ich przed ewentualnym przemieleniem.

2. Wprowadzone udoskonalenia technologii

Zastosowane technologie w odniesieniu do rudy zawierającej przewagę piaskowców doprowadzały do drobnego zmielenia ziarn kwarcu, które z punktu widzenia uwolnienia minerałów nie jest wymagane. Dlatego też opracowano kilka sposobów uniknięcia tego. Pierwsza propozycja zakładała oddzielenie piaskowców od pozostałych skał przez przesiewanie rudy pokruszonej /1/. Rozwiązanie to zostało wdro-

żone w ZWR Lubin, gdzie na nadszybiu zastosowano przesiewacze wałkowo-płytkowe, których przesiew kieruje się na oddzielny ciąg wzbogacania. Techniczna realizacja nie gwarantuje jednak pełnych efektów, gdyż przesiewacze pracują nie z pełną sprawnością, ponadto ilość przesiewu nie wystarcza na pełne obciążenie wydzielonego ciągu, co zmusza do dodatkowego uzupełnienia go rudą uboższą w płaskowiec /13/.

Następnie opracowano technologię flotacji skał wapienno-lupkowych z grubo zmielonej rudy przy pomocy kwasów tłuszczowych. Pozwala to wyprowadzić z cyklu flotacji gruboziarniste (do 0,3 mm) odpady piaskowcowe /3, 4, 5/.

Kolejnym rozwiązaniem zastosowanym w ZWR Lubin i Rudna jest rozdział piaskowców od skał wapiennych i lupkowych w drodze klasyfikacji w klasyfikatorze zwojowym, następnie ostatecznej flotacji wydzielonych piasków o uziarnieniu -0,3 mm oraz drobnym zmieleniu i flotacji frakcji grubej /6, 7, 8, 9/.

Dla uniknięcia ewentualnego przemielenia minerałów użytecznych zastosowano flotację wstępną w obiegu mielenia. Operacja ta w przypadku ZWR Lubin zastosowana łącznie z dokładną klasyfikacją i bez wyeliminowania początkowej stadijalności procesu przyniosła poprawę wskaźników /10/. Natomiast w pierwszym ciągu ZWR Polkowice, gdzie wielostadialny schemat wzbogacania zastąpiono flotacją w obiegu mielenia oraz jednostadialną flotacją główną, nie otrzymano poprawy wskaźników /11/, natomiast pojawiły się trudności z otrzymaniem wysokiej jakości koncentratów.

3. Dalsze możliwości doskonalenia technologii wzbogacania rud miedzi

3.1. Zagadnienie skuteczności rozdziału

Sprawdzona w pierwszym i drugim ciągu ZG Lubin technologia wzbogacania rud stosująca wydzielenie w klasyfikatorze piaskowców przyniosła dotychczas pewne oszczędności. Pozwoliła bowiem na wyprowadzenie z układu mielenia, tylko po młynie prętowym, części trudno mielącego się materiału, kierowanego na flotację, po której otrzymuje się odpady ostateczne. Należy jednak rozważyć możliwości powiększenia korzyści jakie daje rozdział. Bowiem w pierwszym i drugim ciągu, przy stosowanym ziarnie podziałowym ok. 0,3 mm pewna

część piaskowca kierowana jest do wylewu klasyfikatorów wraz z frakcją łupkowo-wapienną. Ilość ta określona na ok. 30-35% w stosunku do łupków i wapieni niepotrzebnie obciąża młyny kulowe mielące łupki i wapienie. Wydzielenie tej części piaskowców mogło by pozwolić na podwyższenie wydajności młynów kulowych. Wymaga to jednak zmiany warunków rozdziału w klerunku podwyższenia ziarna podziałowego.

Z analiz siłowych produktów rozmywania wynika, że udział w nich ziarn 0,3-0,75 mm jest niewielki, zatem ziarno podziałowe winno zostać podniesione ponad 0,3 mm lecz nie przekraczać 0,75 mm. Analizy siłowe wylewu klasyfikatora wskazują nawet, że podział winien nastąpić przy ziarnie ok. 0,5 mm, względnie niewiele wyższym. Przy podwyższeniu wielkości ziarna podziałowego, dla dokładniejszego usunięcia ziarn kwarcu należałoby zastosować natrysk skierowany na zawrót zgodnie z propozycją podaną w sprawozdaniu IMN nr 1230/IV/68. Wydzielony przelew klasyfikatora zawierałby w tym przypadku pewne ilości ziarn powyżej 0,3 mm co uniemożliwiłoby otrzymanie odpadów końcowych. Dlatego wymagane byłoby domielenie piasków przed ich ostateczną flotacją. Domielenie takie pozwala osiągnąć niższą zawartość miedzi w odpadach piaskowcowych niż z piaskowców wydzielonych przy ziarnie maksymalnym 0,3 mm i nie poddawanych domieleniu. Jest to uzasadnione o tyle, że do domielania nie skleruje się ściśle ziarna + 0,3 - 0,75 mm, lecz wskutek klasyfikacji grawitacyjnej także pewną ilość ziarn - 0,3 mm wśród których znajdzie się pewna część trudnoflotujących zrostów. Domielenie ich pozwoli na przejście ich w późniejszej flotacji do produktu pianowego. Obecnie przy wydzieleniu piasków - 0,3 mm znajduje się w nich niewielka ilość (do 5%) klasy +0,3 mm, która zawiera 1,5-2% Cu po flotacji. Zastosowanie domielenia może zmniejszyć udział tej klasy, a przez to dodatkowo wpłynąć na podwyższenie uzysku. Warunki flotacji piasków wydzielonych przy wyższym ziarnie podziałowym (0,75 mm), a następnie domielonych, jak stwierdzono w doświadczeniach nie odbiegają w zasadzie od warunków wymaganych dla flotacji piasków wydzielonych przy ziarnie podziałowym 0,3 mm. Piaski te można flotować po ich odmuleniu przy gęstości 400 - 450 g/l. Flotacja uwolnionych siarczków z odmulonej nadawy przebiega bardzo intensywnie i jest zakończona w ciągu 3 - 5 min.

Następnie należy zastosować intensywną flotację zrostów w czasie ok. 15 min. Wskazane jest zastosowanie do tej flotacji emulsji odczynników intensyfikujących flotację zrostów tj. emulsji ropy. Dodatek kwasów tłuszczowych do tej emulsji pozwala obniżyć nieco zawartość Cu w odpadach (o ok. 0,02%) przy jednoczesnym przyspieszeniu flotacji. Po tej flotacji otrzymuje się gruboziarniste odpady piaskowcowe o niskiej zawartości miedzi /12/.

Zastosowanie rozdziału przy podwyższonym ziarnie podziałowym doprowadzi do oczyszczenia od piaskowców frakcji łupkowo-wapiennej. Dzięki temu globalna wydajność młynów może wzrosnąć o ok. 15% mimo potrzeby przeznaczenia jednego z młynów do domielania piaskowców. Niezależnie od wzrostu wydajności mielenia możliwe jest osiągnięcie wyższego uzysku /12/.

3.2. Możliwość uproszczenia schematu

W ostatnim okresie, szczególnie w związku z perspektywą wprowadzenia automatycznej kontroli i regulacji procesów wzbogacania, pojawiły się tendencje (w zdecydowanej większości przypadków słuszne) do upraszczania schematów technologicznych flotacji. Uproszczenie to można m.in. osiągnąć przez łączenie do wspólnej flotacji wydzielonych z obiegu mielenia piasków, ze zmieloną frakcją łupkowo-wapienną i z produktami przejściowymi. Połączenie to doprowadzi wprawdzie do tego, że flotacja całości materiałów przebiegać będzie w jednym ciągu maszyn, jednak może wyeliminować możliwość osiągnięcia pewnych korzyści jakie daje rozdzielna flotacja. Należy bowiem mieć na uwadze, że są to dość zróżnicowane materiały zarówno pod względem uziarnienia minerałów użytecznych, skały płonnej, jak też pod względem wymaganych warunków wzbogacania. Piaski można flotować przy wyższej gęstości niż pozostałe materiały, w krótszym czasie i przy niższym zużyciu ksantogenianu i odczynnika pianotwórczego. Mogą wymagać natomiast zastosowania intensywnej flotacji zrostów z dodatkiem emulsji odczynników zbierających zrosty. Ponieważ wapienie i łupki łącznie z produktami przejściowymi są materiałem drobnym, wymagają flotacji przy niższej gęstości, w czasie dłuższym i przy innym zużyciu odczynników, połączenie tych materiałów z piaskami nie rokuje zatem nadziei na poprawę wskaźników, sam zaś argument uproszczenia schematu jest w tym przypad-

ku niewystarczający, tym bardziej, że uproszczenie w przypadku ZWR Lubin można osiągnąć inną drogą, wydaje się racjonalniejszą. Ponieważ w każdym z istniejących ciągów wydziela się piaski, które jeśli przyjmie się podział przy ziarnie podziałowym wyższym od 0,3 mm (przykładowo 0,5 - 0,75), będą wymagały domielenia, korzystnie będzie zebrać je ze wszystkich ciągów do wspólnej klasyfikacji i wspólnego domielenia. Po tych operacjach flotacja wszystkich płasków może przebiegać w jednym z ciągów. Osiągnięto się przez to także pewne uproszczenie schematu zakładu i ułatwi się wprowadzenie automatyzacji w wyróżniającym się parametrami i wymaganiami w procesie. Istnieje natomiast celowość połączenia produktów przejściowych z nadawą flotacji łupków i wapieni. Na produkty przejściowe składać się mogą odpady operacji czyszczących oraz ubogie koncentraty flotacji uzupełniających, zarówno ciągów łupkowo-wapiennych, jak piaskowcowych. Rozstrzygnięcia wymaga sposób domielania produktów przejściowych. Najprostszym oczywiście sposobem jest sklasyfikowanie ich i skierowanie grubszej frakcji domielenia rudy. W przypadku jednak rudy zawierającej znaczne ilości drobnowpryśniętych łupków obdarzonych naturalną hydrofobowością istnieje potrzeba szczególnie drobnego domielenia produktów przejściowych. Nie jest ono możliwe do osiągnięcia w przypadku łącznego domielania z rudą. Teoretycznie, produkty przejściowe skierowane do domielenia łącznie z rudą mają niewielką szansę aby zostały domielone. Pochodzą one bowiem z flotacji rudy, która została przepuszczona przez urządzenia klasyfikujące. Jeżeli zatem trafia ponownie do układu mielenia i klasyfikacji, mają prawo opuścić ten układ łącznie z gotowym ziarnem, gdyż uprzednio wydzielone zostały z tego układu jako ziarno gotowe do flotacji. W tej sytuacji domieleniu mogą ulec grubsze produkty z flotacji piasków oraz część wolnych siarczków i bogatszych zrostów, występujących w odpadach czyszczenia. Pozostałe uboższe i drobniejsze zrosty mogą być domielone tylko w niewielkim stopniu. Zatem wskazane jest domielanie półproduktów w oddzielnym młynie współpracującym z hydrocyklonami o znacznie niższym ziarnie podziałowym od hydrocyklonów klasyfikujących rudę. Połączenie domielonych produktów przejściowych z rudą łupkowo-wapienną pozwoli przerabiać ujednolicony materiał w obrębie całego ciągu, co także daje możliwość łatwiejszej i skuteczniejszej optymalizacji procesów w drodze automatyzacji. Stworzy to przypusz-

czalnie większe szanse poprawy wskaźników niż w przypadku połączenia tych materiałów z piaskami, a cel ten winien być zawsze celem nadrzędnym nad względami ruchowymi, czy pomiarowo kontrolnymi. Ponadto, za odrębną flotacją piasków przemawia większa perspektywa zużytkowania odpadów rozdzielonych.

3.3. Możliwość poprawy uzysku przy obniżonej jakości koncentratu

W szeregu badań flotowalności rud zawierających łupki stwierdzono, że istnieje wyraźna korelacja pomiędzy zawartością miedzi w koncentracie a uzyskiem [14, 15, 16]. Rysunek pierwszy przedstawia proste korelacyjne wraz z równaniem obliczonym na podstawie zmianowych wyników osiaganych w ZWR Polkowice. Korelacje podobne kształtują się w większości zakładów wzbogacania rud miedzi i potwierdzone są w próbach laboratoryjnych, wskazują one na możliwość podwyższenia flotacyjnego uzysku miedzi nawet do 95%, jednak przy znacznym obniżeniu zawartości metalu w koncentracie (do ok. 8 - 12%). W przypadku stosowania pirometalurgicznych metod otrzymywania miedzi metalicznej, wykorzystanie tej możliwości podwyższenia uzysku jest problematyczne. Zmuszałoby bowiem do przetapiania znacznie większych ilości koncentratów dla otrzymania tej samej ilości miedzi. Pociągnęłoby to za sobą konieczność rozbudowy hut, a zatem zwiększenie zarówno kosztów inwestycyjnych jak i eksploatacyjnych. Także wskutek zwiększonego wychodu żużla, uzysk hutniczy obniżyłby się tak, że osiągnięta podwyżka uzysku flotacyjnego zostałaby w znacznej części stracona. W świetle jednak perspektywy zastosowania hydrometalurgicznej metody produkcji miedzi istniałaby możliwość podwyższenia uzysku przy równoczesnym obniżeniu jakości koncentratu. W przypadku amoniakalnej metody ługowania [17, 18, 19] skąta płonąca nie bierze udziału w reakcji, nie zużywa zatem ani odczynników ani praktycznie ciepła, zatem nie stwarza takich problemów jak w przypadku metod ogniowych. Natomiast we flotacji produkcja koncentratów o niższej zawartości miedzi nie wymagałaby żadnych dodatkowych zabiegów, wręcz przeciwnie mogłaby doprowadzić do uproszczenia i odciążenia schematu przez zmniejszenie ilości operacji czyszczeń i zmniejszenia obciążenia produktu przejściowych.

4. Podsumowanie

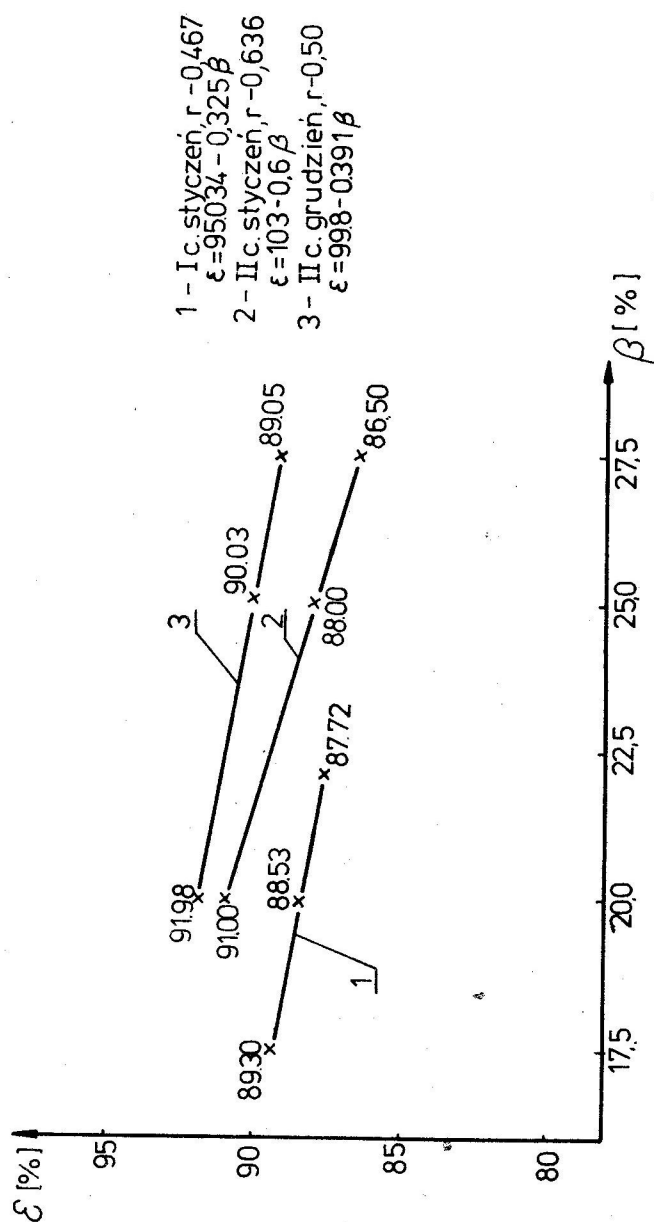
Mimo wprowadzonych udoskonaleń schematów technologicznych wzbogacania rud miedzi istnieją dalsze możliwości doskonalenia i podwyższenia wskaźników:

- 1) w przypadku rud piaskowcowych możliwe jest to przez udoskonalenie pracy przesiewaczy oraz przez zmianę warunków rozdziału w klasyfikatorze piaskowców od pozostałych skał, z zastosowaniem domielania piasków.
- 2) w przypadku rud łupkowo-wapiennych przez odpowiednie domielanie produktów przejściowych, prawidłową klasyfikację zarówno rudy jak i półproduktów oraz łączenie do flotacji podobnych do siebie materiałów.
- 3) poprzez zastosowanie hydrometalurgicznej metody amoniakalnej produkcji miedzi stwarza perspektywę znacznego podwyższenia uzysku i uproszczenia schematów flotacyjnych, dzięki możliwości przerabiania koncentratów o znacznie niższej zawartości miedzi.

Spis literatury

- | | |
|--|--|
| 1. Adamiczka J.
Bortel R. i in. | - Sprawozdanie IMN Nr 713/N/62 |
| 2. Bortel R.
Ogaza H.
Wójtowicz J. | - Kierunki badań nad udoskonaleniem dotychczasowej technologii wzbogacania rud miedzi LGOM, II Krajowy Zjazd Górnictwa Rud Lubin 1966. |
| 3. Wójtowicz J. | - Sprawozdania IMN Nr 1212/67/I, 1329/68-74 |
| 4. Wójtowicz J. | - Patent PRL Nr 53257 |
| 5. Wójtowicz J. | - Metod flotacji miednych złożonych rud s promezutocnym vydelenem uglekislych komponenter, VIII Medz. Kongr. po Obogasc. Pol. Iskop. Leningrad 1968 D-15 str. 541. |
| 6. Madej W. | - Sprawozdanie Nr 1230/II i IV/68 |
| 7. Madej W.
Żmudziński K. | - Patent PRL Nr 61610 |
| 8. Madej W. i in. | - Sprawozdanie IMN Nr 1230/VIII/71 |
| 9. Madej W. i in. | - Sprawozdanie IMN Nr 1474/72 |
| 10. Madej i in. | - Sprawozdanie IMN Nr 1726/I i II/73 |
| 11. Bortel R.
Wójtowicz i in. | - Sprawozdanie IMN Nr 1771/74 |

12. Wójtowicz J.
Wasilewski W.
Byrczek J. - Sprawozdanie DdN Nr 1714/73
13. Wójtowicz i in. - Sprawozdanie DdN Nr 1230/EK/71
14. Żmudziński K.
Wójtowicz - Sprawozdanie IMN Nr 1230/I/67
15. Żmudziński K.
Wójtowicz J.
Olender K.
Dobrowolski L. - Wpływ jakości koncentratu na uzysk miedzi, Rudy i Metale Nież. t. 13. Nr 11 1968 str. 560
16. Zwerdling W.
Musioł J.
Bortel R.
Wójtowicz J. - Sprawozdanie IMN Nr 1421/69
17. Wójtowicz J.
Żmudziński
Wasilewski W.
Bonarek E. - Patent PRL Nr 67330
18. Tobolik M. i in. - Sprawozdanie DdN Nr 1766/I/74
19. Wójtowicz J.
Tobolik M.
Oktawiec M. - Amoniakalna metoda przerobu półproduktów i koncentratów flotacyjnych na tle innych metod hydrometalurgicznego odzysku miedzi. Sympozjum nt. Nowoczesna metalurgia miedzi - Głogów 1974.



Rys.1 Korelacja pomiędzy uzyskiem a zawartością miedzi w koncentracie dla I i II ciągu.