

BOKSYTY LUBELSKIE JAKO SUROWIEC DO OTRZYMYWANIA TLENKU GLINU METODĄ KWAŚNĄ

UKD 553.492.1(438—11LZW): 669.712.2. metoda Bretsznajdera

Wszechstronność zastosowania glinu we współczesnej technice i gospodarce powoduje stały wzrost wydobycia rud i rozwoju hutnictwa aluminium. Tempo wzrostu zużycia i produkcji tego metalu można uważać za jeden z charakterystycznych wskaźników rozwoju przemysłowego kraju. Wyczerpywanie się zasobów geologicznych tradycyjnego surowca jakim są boksyty, spowodowało podjęcie szerszych badań nad wykorzystaniem do produkcji aluminium nieboksytowych surowców glinonośnych oraz opracowania odmiennych od Bayera metod ich przerobu.

Światowa produkcja aluminium w skali przemysłowej bazuje nadal głównie na wykorzystaniu surowców boksytowych. Kraj nasz nie posiada jednak większych złóż wysokogatunkowych boksytów a cała dotychczasowa produkcja aluminium jest oparta na surowcu importowanym. Od wielu lat wiele krajów, w tym również Polska, prowadzi badania nad otrzymywaniem tlenku glinu z ubogich surowców glinonośnych zarówno metodami alkalicznymi, jak i kwaśnymi (6, 13). Badania w tej dziedzinie zostały w Polsce ukierunkowane pod kątem wykorzystania posiadanych, unikatowych na świecie tak pod względem zasobów (3,5 mln t rocznie) jak i zawartości Al_2O_3 (średnio 35%), nieboksytowych surowców glinonośnych jakimi są ility i popioły turoszowskie (2). Surowce te będą przerabiane metodą spiekowo-rozpadową Grzymka (8, 14) realizowaną już w skali przemysłowej (Zakład w Nowinach) oraz według technologii kwaśnej Bretsznajdera znajdującej się w stadium wdrożenia (1, 2, 11, 12). Stwarza to perspektywę pokrycia we własnym zakresie zapotrzebowania na tlenek glinu i aluminium.

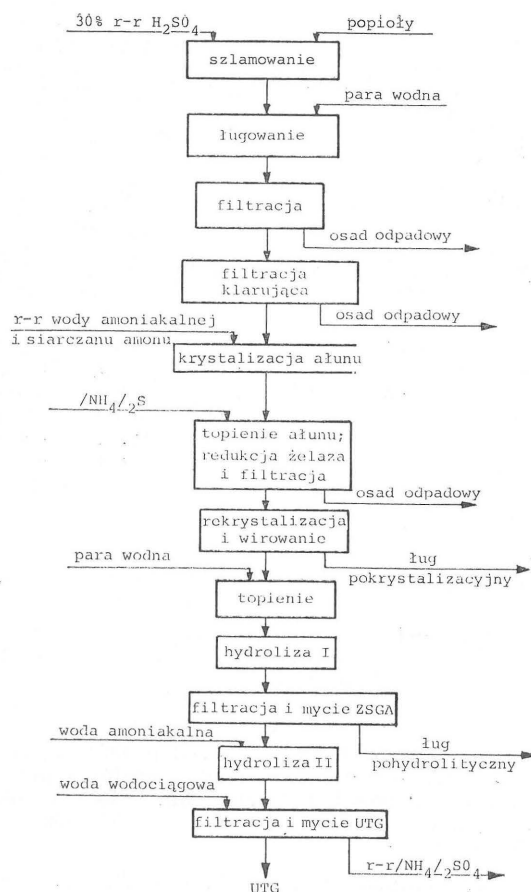
W efekcie prowadzonych na Lubelszczyźnie w latach sześćdziesiątych prac geologiczno-poszukiwawczych pod kierunkiem mgr S. Cebulaka (3) odkryto skały boksytone, które mogą powiększyć krajową bazę surowcową. Dotychczasowe badania, wykonane w Instytucie Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich Politechniki Wrocławskiej (10) wykazały, że po wstępnym wzbogaceniu mogą one być wykorzystane do produkcji tlenku glinu metodą kwaśną. Dodatkową wartość omawianego surowca boksytonego stanowią podwyższone koncentracje cen-

nych pierwiastków rzadkich takich jak tytan, cyrkon, niob i gal (3, 4). W stosowanej technologii kwaśnej istnieje możliwość odzysku pierwiastków towarzyszących, które koncentrują się w produktach odpadowych. Podnosi to znacznie rentowność wydobycia i przeróbki surowca boksytonego przy zastosowaniu tej technologii. Na szczególną uwagę zasługuje również fakt, że właściwości fizykochemiczne oraz czystość tlenku glinu otrzymanego z boksytów lubelskich są porównywalne z importowanymi tlenkami glinu (9).

Geologiczne warunki występowania skał boksytoneśnych w LZW oraz ich wstępna charakterystyka surowcowa i mineralogiczno-petrograficzna zostały podane przez S. Cebulaka (4). Występują one w spągu węglonośnych utworów karbońskich w obrębie niżejległej serii alitowej, w formie cienkich przerozów, które tylko partiami spełniają wysokie wymagania boksytów bayerowskich. Niejednorodna zawartość Al_2O_3 (w granicach 20 do 64%) oraz niewielka miąższość skał boksytopodobnych mogą w przyszłości ograniczać możliwość selektywnej eksploatacji oraz przydatność tego surowca do przerobu tradycyjną metodą Bayera.

W niniejszym artykule przedstawiono zatem rezultaty badań przeprowadzonych w skali laboratoryjnej (10), które zmierzały do przedstawienia oceny możliwości wykorzystania lubelskich surowców boksytoneśnych do produkcji tlenku glinu zmodyfikowaną metodą Bretsznajdera (10). Metoda ta polega na roztworzeniu surowca ługami obiegowymi zawierającymi wolny kwas siarkowy, krystalizacji ałunu glinowo-amonowego i jego hydrolizie pod ciśnieniem około $1,5 \cdot 10^6$ Pa (ryc. 1). Powstały poprzez hydrolizę krystaliczny osad zasadowego siarczanu glinowo-amonowego poddawany jest działaniu roztworu amoniaku, którym wymywa się jony siarczanowe uzyskując wodorotlenek glinu, z którego po kalcynacji otrzymuje się tlenek glinu (12).

Omawiany surowiec boksytoneśny charakteryzuje się niezbyt wysokim modulem krzemionkowym i zmiennym składem chemicznym, typowym dla boksytów krzemianowych oraz znacznym udziałem syderytu. Badana przez nas próbka została pobrana z otwo-



Ryc. 1. Schemat metody kwaśnej Bretsznajdera.
Fig. 1. The diagram of the Bretsznajder's acide method.

Tabela I
SKŁAD CHEMICZNY SKAŁ BOKSYTONOŚNYCH LZW (3).
REJON KOLECHOWICE — OTWÓR K-24

Rodzaj próbki i głębokość po- brania (w m)	Zawartość składnika (w % wag.)				Moduł krze- mio- i- kowy $\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	
Pokład boksytowy 846,7—855,6	35,0— —49,8	10,0— —18,6	11,0— —29,8	1,4— —2,0	2,4 —3,8
Próbka bruzdowa 875,0—850,0	43,2	13,4	21,7	1,6	3,2

ru. K-24, odwierconego w południowo-zachodniej części złoża, w rejonie Kolechowic. Stwierdzono tu występowanie na głębokości 846,7—855,6 m poziomu skał boksytowych, z których metodą prób bruzdowych z odcinka 2,5 m miąższości pobrano materiał do badań. Zawartość poszczególnych składników w badanym surowcu zestawiono w tabeli I.

Skały boksytowe LZW charakteryzują się zróżnicowaną strukturą oraz składem mineralnym i chemicznym, co wiąże się ze złożonymi warunkami powstania wskutek wietrzenia sublaterytowego. W świetle przeprowadzonych w ramach prac dokumentacyjnych szczegółowych badań mineralogiczno-petrograficznych (33) badane boksyty należy zaliczyć do boksytów krzemianowych, reprezentujących odmianę bemitowo-kaolinową. Cechami genetycznymi i strukturalnymi odpowiadają one boksytom, ale ze względu na niski moduł krzemionkowy określone są jako skały boksytopodobne. Jako minerał glinonośny zawie-



Ryc. 2. Krzywe termoróżnicowe (DTA) badanych próbek.

1 — próbka wzorcowa bemitu, 2 — surowiec boksytowy, 3 — koncentrat bemitowy (ługowanie 15% H_2SO_4 bezciśnieniowo), 4 — koncentrat bemitowy (rozdziel sedymencyjny), 5 — odpad po ługowaniu ciśnieniowym (30% H_2SO_4).

Fig. 2. Differential analysis curves (DTA) of the studied samples.

1 — standard boehmite, 2 — bauxite ore, 3 — concentrate obtained by chemical leaching (15% H_2SO_4), 4 — concentrate obtained by sedimentation method, 5 — waste obtained from pressure leaching (30% H_2SO_4).

Tabela II
WYNIKI ANALIZY CHEMICZNEJ BADANYCH PRÓBEK

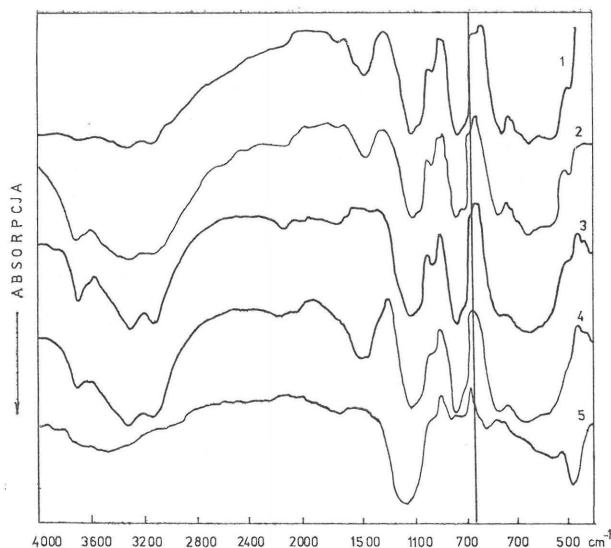
Rodzaj próbki	Al_2O_3 % wag.	Fe_2O_3 % wag.	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Surowiec wyjściowy	43,2	21,7	3,22
Koncentrat otrzymany sedymen- tacyjnie w 0,2% roztw. NH_3	54,8	10,2	3,9
Koncentrat otrzymany sedymen- tacyjnie w 0,2% roztw. Na_2CO_3	57,9	6,4	5,03
Koncentrat otrzymany na drodze ługowania chemicznego 15% H_2SO_3	59,8	4,0	3,27

rają oprócz bemitu substancję alumożelową, obecny jest także w niewielkiej ilości diaspor. W macie alumożelowej występują znaczne ilości drobnouśteczkowego kaolinu oraz minerału z grupy septochlorytu żelazowo-glinowych (bertierynu). W masie cementu występuje także pył minerałów tytanowych, węglisty oraz tlenków żelaza. Żelazo stwierdzono głównie w postaci syderytu częściowo w bertierynie oraz jako tlenki żelaza (getyt, hydrogetyt). Przeprowadzono zatem odżelazianie surowca (10) (o pierwotnej zawartości około 22% Fe_2O_3) metodą sedymencyjną (rozdziel w roztworze amoniakalnym i Na_2CO_3) oraz chemiczną (ługowanie bezciśnieniowe 15% H_2SO_4). Zawartość żelaza w produktach wzbogacania przedstawiono w tabeli II.

Tabela III

PORÓWNANIE PROCENTOWYCH ZAWARTOŚCI
ZANIECZYSZCZEŃ W NIEKTÓRYCH TIENKACH GLINU
STOSOWANYCH W TECHNICIE ELEKTRONICZNEJ

Rodzaj zanieczyszczeń	Rodzaj tlenku glinu				
Zawartość (w % wag.)	Alcoa A-14	Alcoa A-15	Baco Cera	Smiths Ind- ustries Ltd PV 1269	Z boksytów LZW
SiO ₂	0,12	0,02	0,077	0,096	0,225
Fe ₂ O ₃	0,03	0,006	0,013	0,014	0,099
CaO	0,04	0,04	0,027	0,035	0,003
MgO	0,001	0,001	0,002	0,011	0,0004
Na ₂ O	0,04	0,06	0,021	0,052	0,002
K ₂ O	—	—	0,004	0,010	0,0008
suma zanie- czysz- czeń	0,231	0,127	0,144	0,218	0,2402
Analizy nr 1—4 — dane literaturowe nr 5 — oznaczenia wykonano w Politechnice Wrocławskiej					



Ryc. 3. Widma absorpcyjne w podczerwieni badanych próbek (objaśnienia jak przy ryc. 2).

Fig. 3. The infrared absorption spectra of the studied samples (explanation see fig. 2).

Otrzymane koncentraty poddano ługowaniu ciśnieniowemu, zgodnie z przedstawionym schematem (ryc. 1). Produkty wzbogacania i ługowania kontrolowano także pod względem składu mineralnego.

Analizę mineralnego składu fazowego przeprowadzono z zastosowaniem metod analizy termiczno-różnicowej, rentgenograficznej, spektroskopii w podczerwieni oraz mikroskopii elektronowej. Określenie zawartości poszczególnych składników chemicznych wykonano metodami klasycznej analizy chemicznej oraz absorpcji atomowej. Termiczną analizę różnicową wykonano na derywatografie produkcji węgierskiej firmy Paulik-Paulik-Erdey typ OD-102. Pomiary przeprowadzono stosując szybkość ogrzewania 10 deg/60 s, $T = 1473$ K, przy czułości TG — 1000 mg, DTA — 1/10, DTG — 1/10 analizując naważki około 1 g. Analizę rentgenograficzną wykonano metodą dyfrakcji rentgenowskiej na dyfraktometrze produkcji japońskiej firmy Rigaku Denki, rejestrując wykres intensywności ugiętego promieniowania rentgenowskiego. Badania spektroskopowe w podczerwieni wykonano na spektrofotometrze firmy Zeiss UR-20 w zakresie liczb falowych 400–4000 cm^{-1} , analizując preparaty w postaci pastylek z KBr. Badania za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego wykonano na aparacie produkcji angielskiej firmy Cambridge Instruments typ Stereoscan 180. Oznaczenia metodą absorpcji atomowej przeprowadzono systemem płomieniowym na spektrometrze firmy Perkin-Elmer typ 403.

W surowcu boksytowym i koncentraty wzbogaconych sedymentacyjnie i chemicznie stwierdzono na podstawie porównawczej analizy termicznej (ryc. 2) występowanie w przeważającej ilości bemitu. O jego obecności świadczy efekt endotermiczny związany z dehydroksylacją bemitu w zakresie 853–873 K (13, 14), a którego brak stwierdzono w odpadzie uzyskanym podczas ługowania ciśnieniowego 30% H_2SO_4 . Badania spektroskopowe w podczerwieni tych samych próbek potwierdzają wyniki otrzymane z analizy termicznej (ryc. 3). Widma absorpcyjne wyżej wymienionych próbek wykazują podobieństwo do wzorcowego bemitu z wyjątkiem próbki reprezentującej odpad otrzymany podczas ługowania chemicznego. Na obecność bemitu wskazują charakterystyczne pasma absorpcji w zakresie liczb falowych 3300 i 3290 cm^{-1} oraz około 3100 cm^{-1} odpowiadające drganiom grup OH związanych w bemicie (7, 16).

Na podstawie badań rentgenograficznych i obliczonych charakterystycznych wartości d_{hkl} zidentyfikowano obok syderytu, kaolinitu i bertierynu. Widma

absorpcji w podczerwieni badanych próbek wykazują również charakterystyczne dla odpowiednich minerałów pasma absorpcji położone: dla syderytu około 750 cm^{-1} , a dla kaolinitu w zakresie 3750–3500 cm^{-1} i 1200–900 cm^{-1} .

Analizę rentgenowską stosowano dla określenia w produktach przeróbki względnych zawartości poszczególnych minerałów. Zawartość tę określano na podstawie wysokości wybranych charakterystycznych refleksów zwłaszcza składników niepożądanych, jakim jest między innymi syderyt. Na załączonych dyfraktogramach (ryc. 4) wielkość refleksu charakterystyczna dla syderytu wskazuje na spadek jego udziału w odpowiednio preparowanych próbkach. Niecałkowite usunięcie żelaza wynika z faktu związania go także w bertierynie, który pozostaje w koncentracji bemitowym.

Selektywne usuwanie żelaza z boksytu przeprowadzono zatem chemicznie przy użyciu H_2SO_4 . Eksperymentalnie ustalono optymalne warunki ługowania przy jak najmniejszych stratach glinu (10). Jako optymalne warunki przyjęto: 15% roztwór H_2SO_4 , czas ługowania 2 godziny i 50% nadmiar H_2SO_4 w stosunku do Fe_2O_3 . Otrzymany w ten sposób koncentrat boksytowy (tabela II) poddano dalszej przeróbce, zgodnie z przedstawionym schematem (ryc. 5).

Ługowanie wzbogaconego boksytu prowadzono w autoklawie z zastosowaniem 30% roztworu H_2SO_4 , uzyskując wysoką wydajność ługowania wynoszącą ok. 93% Al_2O_3 , gdy pierwiastki towarzyszące koncentrowały się głównie w odpadzie (10). Jednocześnie z glinem ługowane jest żelazo, które usuwano w dalszej części procesu poprzez redukcję jonów Fe(III) do Fe(II) siarczkiem amonu rekryształizacji alunu glinowo-amonowego.

Roztwór zawiesinowy, którego głównym składnikiem w fazie ciekłej jest siarczan glinu poddawano filtracji. Filtracja przebiegała dość trudno ze względu na szybką sedymentację fazy stałej (wydajność filtracji przy $\Delta p = 0,59 \cdot 10^5$ Pa wynosiła 0,0936 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$). Filtrat siarczanu glinu jest podstawowym roztworem do otrzymywania zasadowego siarczanu glinowo-amonowego a następnie wodorotlenku glinu. Wszystkie operacje technologiczne przedstawione na schemacie (ryc. 5) począwszy od krystalizacji alunu glinowo-amonowego poprzez redukcję Fe(III) do Fe(II) , hydrolizę I i hydrolizę II aż do otrzymywania wodorotlenku glinu są jak wykazały nasze badania w zasadzie takie same bez względu na surowiec

KONCENTRAT BEMITOWY



Ryc. 4. Dyfraktogramy produktów rozdziatu sedymentacyjnego.

1 — surowiec boksytowy, 2, 4 — produkty rozdziatu w 0,2% roztworze Na_2CO_3 , 3, 5 — produkty rozdziatu w 0,2% roztworze NH_4OH , 2, 3 — przy przepływie $100 \text{ cm}^3/3 \text{ min}$, 4, 5 — przy przepływie $100 \text{ cm}^3/6 \text{ min}$.

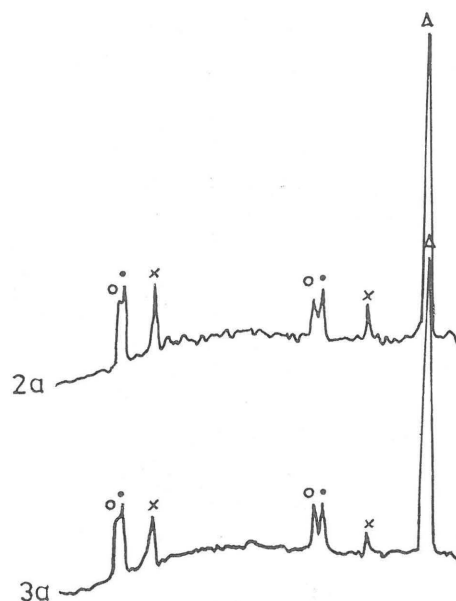
wyjściowy (7, 8, 12). Rodzaj surowca glinonośnego ma jednak wpływ na jakość i właściwości fizyko-chemiczne otrzymanego tlenku glinu.

W celu otrzymania tlenku glinu o modyfikacji $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ uwodniony tlenek glinu prażono w ciągu 2 godz. w korundowym tyglu w sposób statyczny w temp. 1473 K.

W tabeli III zestawiono wyniki analiz chemicznych (oznaczenia wykonano metodą absorpcji atomowej) tlenków wzorcowych pochodzących z importu oraz tlenku otrzymanego z boksytów (10, 12). W świetle tych danych tlenek glinu otrzymany z omawianego surowca boksytowego odznacza się czystością porównywalną ze stosowanymi w ceramice specjalnej tlenkami importowanymi, zwłaszcza jeśli chodzi o zawartości tlenków alkalicznych. W otrzymanej próbce stwierdzono metodą rentgenograficzną prawie 100% obecność fazy $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (ryc. 6).

Obserwacje przeprowadzone z zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego wykazały, że próbki otrzymanego TG posiadają strukturę zbliżoną do importowanego tlenku glinu firmy Giullini (10, 12). Badany tlenek wykazuje budowę agregato-

ODPAD SYDERYTOWY



- Δ syderyt
- ° kaolinit
- bertieryn
- × be mit

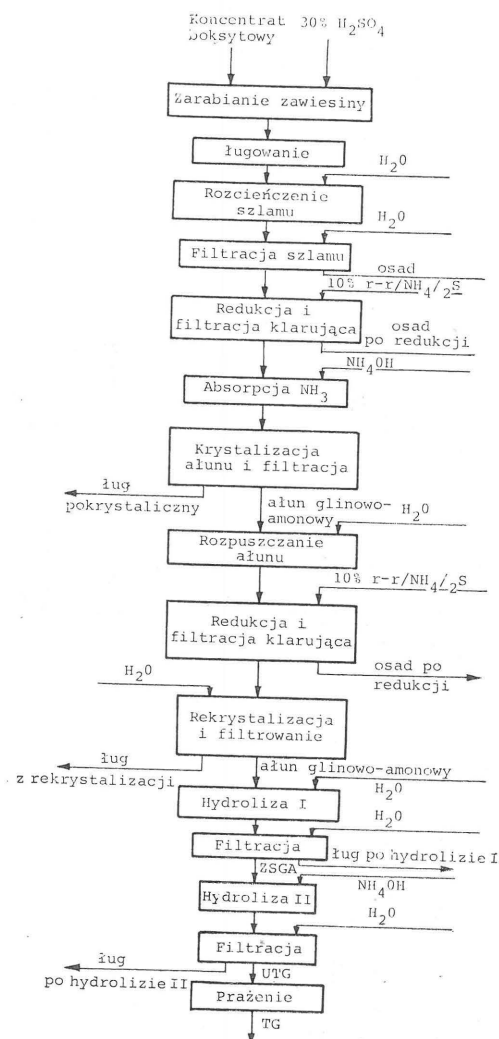
Fig. 4. X-ray patterns of the raw material concentrates and waste products obtained by sedimentation separation.

1 — bauxite ore, 2, 4 — products obtained by separation in 0,2% solution Na_2CO_3 , 3, 5 — products obtained by separation in 0,2% NH_4OH , 2, 3 — at flow $100 \text{ cm}^3/3 \text{ min}$, 4, 5 — at flow $100 \text{ cm}^3/6 \text{ min}$.

wą, ma ziarna o pokroju płytkowym oraz strukturę przypominającą typ „sandwich”, charakterystyczną dla tlenku firmy Giullini. Ziarno podstawowe wykazuje rozrzut wielkości od 5 do $3 \mu\text{m}$. Tlenek ten jest podatny na mielenie, co wpływa korzystnie na rozwinięcie powierzchni właściwej i innych jego właściwości fizycznych.

Podsumowując wykonane badania należy podkreślić, że lubelski surowiec boksytowy przy zastosowaniu technologii kwaśnej jest w pełni przydatny do otrzymywania nie tylko hutniczego tlenku glinu, ale także tlenku glinu odpowiedniego dla techniki elektronicznej. Pozytywna ocena przydatności stwarza możliwość zastąpienia w przyszłości importowanego surowca krajowym.

Na zakończenie dziękujemy mgr S. Cebulakowi i mgr M. Laskowskiemu z Oddziału Górnośląskiego Instytutu Geologicznego w Sosnowcu za pobranie i przekazanie próbek do badań oraz pomoc przy pracach eksperymentalnych nad otrzymaniem koncentratów boksytowych sposobem wzbogacania sedymentacyjnego.

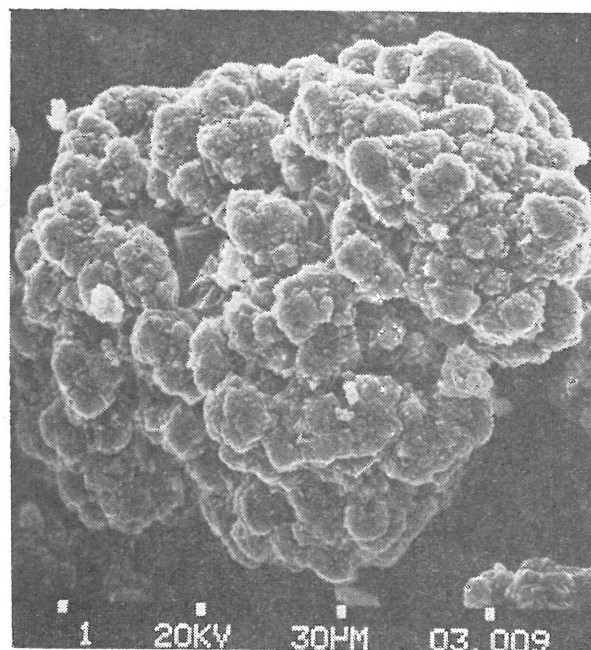


Ryc. 5. Schemat procesowy otrzymywania Al_2O_3 z boksytów lubelskich metodą Bretsznajdera (część doświadczalna).

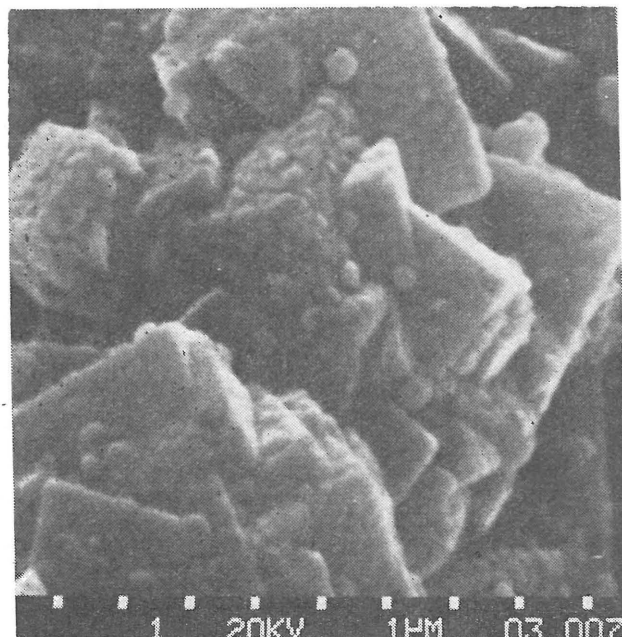
Fig. 5. Process diagram of Al_2O_3 production from bauxites by the modified Bretsznajder's method.

LITERATURA

1. Bigosiński L. — Metoda kwaśna prof. S. Bretsznajdera produkcji tlenku glinowego z gliny. *Przem. Chem.* 1978, nr 10.
2. Bretsznajder S. — Aluminium z gliny, PWN, 1966.
3. Cebulak S., Porzycki J. — Dokumentacja wynikowa badań penetracyjnych karbońskich boksytów w obszarze między Włodawą a Łukowem. IG Warszawa — Sosnowiec, 1976.
4. Cebulak S. — Surowce boksytowe i kaolinitowe występujące w karbonie Lubelskiego Zagłębia Węglowego. *Prz. Geol.* 1978, nr 9.
5. De Boer J. H., Fortuin J. M. H., Steggarda J. J. — Dehydration of Alumina Hydrates. *Koninkl. Ned. Akad. Wetenschap., Proc.* 57 B, 1954.
6. Derdacka A. — Przemysł aluminium i tlenku glinowego. *Przem. Chem.* 1968, nr 10.
7. Frederickson L. D., Jr — Characterization of hydrated aluminas by infrared spectroscopy — Application to study of bauxite ores. *Anal. Chem.* 1954, vol. 26, nr 12.
8. Grzymek J. — Patenty PRL, nr 43 443, 43 444, Warszawa 1959.
9. Kamiński J., Inger-Stocka E. i in. — Badania nad otrzymaniem bezalkalicznych odmian Al_2O_3 dla ceramiki korundowej. *Prace niepubl. Polit. Wrocł., Rap. nr 13/77, Wrocław 1977.*



a



b

Ryc. 6. Mikrostruktura $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ otrzymanego z surowca boksytowego K-24 (SEM).

a — zbiór ziarn, pow. 700 X, b — orientacja i ułożenie ziarn podstawowych, pow. 10 100 X.

Fig. 6. Microstructure of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ obtained from bauxite ore K-24 (SEM).

a — aggregate of grains, magn. 700 X, b — orientation and feature of grains, magn. 10 100 X.

10. Kamiński J., Witek B. i in. — Ocena karbońskich boksytów K-24 z Lubelskiego Zagłębia Węglowego jako surowca do otrzymywania tlenku glinu zmodyfikowaną metodą Bretsznajdera. *Ibidem. Rap. nr 155/78, Wrocław 1978.*
11. Mazanek C., Pluta S. — Ocena dotychczasowego postępu prac nad wykorzystaniem krajowej bazy surowcowej do produkcji tlenku glinu metodą kwaśną. *Prace niepubl. I-5 Polit. Wrocł., Wrocław 1976.*
12. Mazanek C., Kuban M. i in. — Badania nad otrzymywaniem uwodnionego tlenku glinu na drodze hydrolizy amoniakalnej z ZSGA. *Ibidem, Rap. nr 109/77 Wrocław, 1977.*

13. Surowce mineralne świata. Pr. zbiorowa pod red. A. Bolewskiego — Wyd. Geol., 1976.
14. Skomorowski E — Kompleksowa produkcja tlenku glinowego i cementu portlandzkiego metodą spiekowo-rozpadową prof. J. Grzymka. Przem. Chem. 1968 nr 10.

SUMMARY

Possible application of Lublin Bauxite-bearing ore deposits to production of alumina by Bretznajder's method has been investigated. Iron contained in the raw material (about 22% of Fe_2O_3) has been removed by both sedimentation and chemical methods. The boehmite concentrates obtained as a result of purification of the raw material by sedimentation and by chemical method contain 7% and 4% of Fe_2O_3 , respectively. The experiments involving leaching of concentrates, filtration of the solutions as well as the hydrolysis of basic ammonium aluminum sulfate have been carried out on a laboratory scale. Hydrated aluminum oxide which has been obtained as a result of these processes was converted into $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ modification (with 99% yield) by heating at 1473 K for 2 hrs. The final product is characterized by high purity (99.75% Al_2O_3) and physicochemical properties very close to those of the imported brands of aluminum oxide. Preliminary studies on concentration of rare elements associated with aluminum (Ti, Zr, Nb, Th, Ga) have revealed that these elements are mainly collected in the wastes resulting from pressure leaching.

15. Stumpf H. C., Russell A. S. i in. — Thermal transformations of aluminas and alumina hydrates. Ind. Eng. Chem., 1950, nr 7.
16. Van der Marel H. W., Beutelspacher H. — Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. Elsevier, Amsterdam — Oxford — New York 1976.

РЕЗЮМЕ

Исследована возможность использования любельских бокситных пород для получения окиси алюминия по технологии Бредшнайдера.

Из сырья, в котором находилось около 22% Fe_2O_3 , извлекалось железо методами седиментации и химическим. Полученные такими способами бемитовые концентраты содержали соответственно 7 и 4% Fe_2O_3 . Исследования процессов выщелачивания этих концентратов, фильтрации растворов и гидролиза основного аммоний-алюмино сульфата проводились в лабораторном масштабе. В результате этих процессов была получена водяная окись алюминия, которая после обжига при температуре 1473 K в течении 2 часов преобразуется в модификацию $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с выходом 99%. Остальной продукт характеризуется большой чистотой (99,7% Al_2O_3) и физикохимическими свойствами, приближенными к аналогичным импортным продуктам.

Исследования в области концентрации спутниковых элементов (Ti, Zr, Nb, Th, Ga) доказали, что главным образом они накапливаются в отбросе после выщелачивания под давлением.