

**PRZYSTOSOWANIE PIASKÓW ODPADOWYCH Z ZGH „ZĘBIEC”
DO WYMOGÓW ODLEWNICTWA JAKO PRZYKŁAD WYBRANIA
WŁAŚCIWEJ METODY WZBOGACANIA**

UKD [553.317:622.243.14].003.1:622.7:669.141.12(438.13 Zębiec)

Zakłady Górniczo-Hutnicze w Zębcu k. Starachowic produkują koncentrat żelaza, tzw. „żelgrudę”, wykorzystując pobliskie złoża piasków żelazistych. W prowadzonym procesie wzbogacania uzyskuje się surowiec hutniczy o zawartości ok. 85% Fe₂O₃, a także znaczne ilości piasków odpadowych, tzw. popłuczkowych, w których zawartość tlenku żelazowego jest jeszcze dość duża.

Ze względu na tak wysoką zawartość Fe₂O₃ oraz wynikającą z tego rdzawą barwę piasku, trudno znaleźć na nie nabywcę. Ponieważ omawiane piaski popłuczkowe cechuje wysoka temperatura spiekania istniałaby możliwość dostosowania ich do wymogów odlewnictwa po opracowaniu odpowiedniej metody wzbogacania.

BADANIA LABORATORYJNE

Przed przystąpieniem do badań technologicznych konieczne było zebranie informacji o własnościach fizyko-chemicznych surowca. W tym celu przeprowadzono badania laboratoryjne, na których podstawie wybrano właściwe metody wzbogacania piasków popłuczkowych. Przeprowadzone badania laboratoryjne można podzielić na następujące:

- a) granulometryczne i chemiczne,
- b) mineralogiczno-strukturalne,
- c) fizyko-mechaniczne.

BADANIA GRANULOMETRYCZNE I CHEMICZNE

Ogólnie pobrano do badań 5 próbek piasków popłuczkowych z ZGH „Zębiec”. Różniły się one znacznie między sobą zarówno składem granulometrycznym, jak i zawartością tlenku żelazowego (tab. I).

Tabela I

**SKŁAD GRANULOMETRYCZNY PIASKÓW
POPŁUCZKOWYCH Z ZGH „ZĘBIEC”**

Frakcja w m/m	Zawartość frakcji w %				
	Pia- sek I	Pia- sek II	Pia- sek III	Pia- sek IIIa	Pia- sek IIIb
1,5	0,16	0,12	0,00	0,02	0,19
1,5 — 0,75	0,66	1,42	0,45	0,15	1,39
0,75 — 0,60	0,44	1,00	0,31	0,22	0,92
0,60 — 0,43	1,56	4,80	1,75	1,93	3,40
0,43 — 0,30	1,38	12,50	2,51	3,82	3,30
0,30 — 0,20	35,60	56,00	35,30	50,25	45,00
0,20 — 0,15	41,18	12,50	37,10	29,40	27,78
0,15 — 0,10	13,50	1,96	16,35	11,11	13,22
0,10	5,32	10,69	6,20	3,10	4,80
Zawartość Fe ₂ O ₃ w piasku	4,6	9,27	5,97	6,61	9,11

Jak widać z przytoczonych wyników tylko w przypadku próbki piasku II surowiec odznaczał się nieco grubszym uziarnieniem niż w pozostałych

próbkach. Zawartości związków żelaza były natomiast bardziej zróżnicowane i wahały się w granicach od 4,6 do 9,27% Fe₂O₃.

BADANIA MINERALOGICZNO-STRUKTURALNE

Celem badania było określenie charakterystyki strukturalno-mineralogicznej piasku, a zwłaszcza poznanie jakościowego składu mineralogicznego, zanieczyszczeń żelazistych oraz sposobu występowania tych ostatnich w stosunku do ziarn kwarcu.

Metodami, które stosowano podczas przeprowadzania badań były: analiza mikroskopowa, techniczna analiza grawimetryczna, techniczna analiza różnicowa. Analiza mikroskopowa wykazała, że podstawowymi składnikami badanych próbek jest kwarc i minerały z grupy tlenków żelaza. Te ostatnie występują w postaci bądź samoistnych ziarn (tzw. skalaka), bądź w postaci zrostów i nacieków na ziarnach kwarcu. Ilościowo największa liczba minerałów żelazistych występuje w postaci zrostów z ziarnami kwarcu, natomiast mniejsza ilość w postaci samoistnych ziarn.

Występowanie minerałów żelazistych w postaci nacieków jest wyraźnie mniejsze niż w formach wymienionych wyżej. Stosunkowo częste nacieki limonitowe mają charakter intensywnie zagęszczonych, drobnych gruzelkowatych skupień. Strukturę minerałów żelazistych można przedstawić w ten sposób, że podstawowa ilość ziarn samoistnych występuje w postaci nieregularnej o średnicy poniżej 0,1 mm. Natomiast w przypadku zrostów — udział minerału żelazistego jest dość zróżnicowany, lecz osiąga często ilość do kilkudziesięciu procent.

Kształt ziarn kwarcu jest nieregularny, o stosunkowo słabym zaokrągleniu, niekiedy zauważa się, że ziarna te posiadają wyraźnie ostre naroża (ryc. 1).

W celu zdobycia pełniejszego obrazu rodzaju minerałów, występujących w badanym piasku, wykonano badanie próbki uzyskanej przez lekkie otarcie piasku surowego w moździerzu laboratoryjnym, za pomocą termicznej analizy różnicowej i termicznej analizy grawitacyjnej. Uzyskana frakcja drobna odzłamowano i następnie — przed badaniem — wysuszono w 110 °C. Udział tej frakcji w stosunku do całości próbki wynosił 7,5% wag.

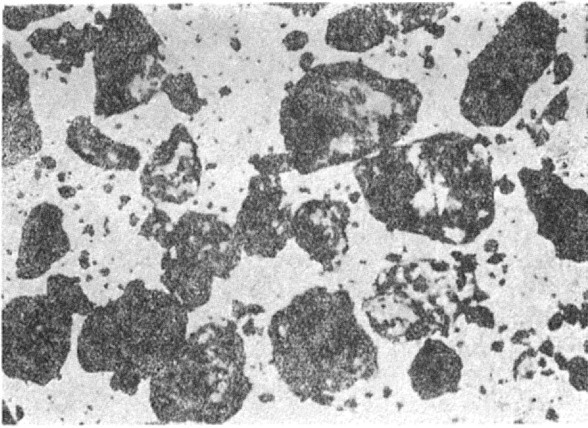
Krzywa termicznej analizy różnicowej (ryc. 2) wykazuje 3 wyraźne efekty endotermiczne:

- a) w temp. ok. 100 °C utrata wody higroskopijnej,
- b) w temp. ok. 300 °C dehydratacja limonitu,
- c) w temp. ok. 500 °C efekt charakterystyczny dla illitu.

Krzywa uzyskana za pomocą termicznej analizy grawimetrycznej (ryc. 3) dla tej samej próbki, jest również charakterystyczna dla mieszaniny limonit — illit.

BADANIA FIZYKO-MECHANICZNE

W czasie badań mineralogiczno-strukturalnych stwierdzono, że związki żelaza związane z ziarnami kwarcu występują na powierzchni tych ziarn jako otoczki lub zrostki i wrostki żelaziste. Celem badań było określenie możliwości oczyszczania piasku me-



Ryc. 1. Piasek Zębiec — próbka surowa, pow. 20 ×.
Fig. 1. Zębiec sand; raw sample; × 20.

chanicznie lub przy użyciu metod fizycznych. W tym celu ocierano próbkę piasku popłuczkowego o łącznej zawartości 4–6% tlenku żelazowego w moździerzu laboratoryjnym, następnie próbkę odszlamowano, wysuszono i usunięto pozostałe minerały ciężkie przez separację w bromoformie. W tak oczyszczonym piasku zawartość tlenku żelazowego wynosiła 0,44% Fe_2O_3 .

Nową próbkę piasku wytrawiono w wodzie królewskiej. Po odmyciu kwarcu oznaczono zawartość żelaza w pozostałym piasku kwarcowym. Wynik analizy chemicznej wykazał tu zawartość 0,16% Fe_2O_3 , jest to ilość żelaza wtrącona w strukturę kwarcu. Przyjmując, że wykonane uprzednio otarcie otoczki limonitycznej piasku nastąpiło całkowicie, należy przypuszczać, że we wrostkach, w obrysie ziarna zawarte jest $0,44 - 0,16 = 0,28\%$ Fe_2O_3 .

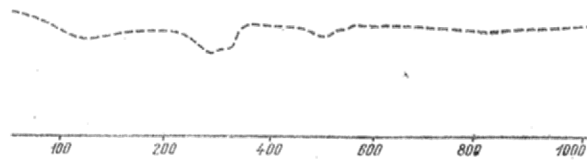
Z wykonanych badań wynika, że zawartość 0,16% Fe_2O_3 jest graniczną możliwością wzbogacania piasków popłuczkowych. Jednak nawet całkowite usunięcie otoczek limonitycznych w zewnętrznym obrysie ziarn nie pozwala na otrzymanie tak czystego surowca. Ziarna piasku, posiadające w swojej masie wrostki żelaziste są nośnikami jeszcze znacznej ilości żelaza, bo aż 0,28% Fe_2O_3 . Różnią się one od pozostałych ziarn piasku kwarcowego zarówno ciężarem, jak i magnetycznością ze względu na znajdujące się w ich obrysie związki żelaza. Próbowano je wydzielić z surowca kwarcowego za pomocą metod magnetycznych oraz przez rozdział w cieczach ciężkich.

W tym celu próbkę piasku popłuczkowego przeszlamoowano przez sito 0,1 mm, a następnie poddano separacji magnetycznej na sucho przy różnym natężeniu pola magnetycznego. Badaniom mikroskopowym poddano zarówno odpady, jak i produkty z separatora:

1. Odpad wyodrębniony w polu magnetycznym 4 kGs (1A) — mikroskopowo stwierdza się tu wyłącznie minerały żelaziste, występujące w postaci drobnych, nieregularnych ziarn (ryc. 4). Ziarna kwarcu i zrosty kwarcowo-limonityczne należą tu raczej do składników przypadkowych. Ilość odpadu 6,2% o zawartości 52,44% Fe_2O_3 .

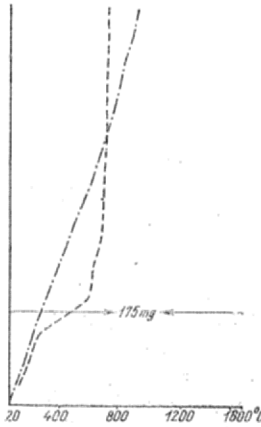
2. Odpad wyodrębniony w polu magnetycznym 15 kGs (5A) — podstawowym składnikiem odpadu są nieregularne ziarna limonitu oraz zrosty kwarcowo-limonityczne. Udział kwarcu w takich zrostach w zasadzie nie przekracza 50% (objętościowo), a zwykle waha się w granicach 20–30% (ryc. 8). Ilość odpadu 25,1% o zawartości 21,45% Fe_2O_3 .

Ryc. 4 i 5 ukazują, iż samoistne ziarna kwarcu występują sporadycznie i należą raczej do zjawisk przypadkowych. Charakterystyczne jest wyraźnie grubsze uziarnienie próbki badanej od opisanej po-



Ryc. 2. Piasek Zębiec otarty. Frakcja drobna po oszlamowaniu. Wykres zmian DTA.

Fig. 2. Zębiec sand grated. Fine fraction after cleaning. Diagramme of DTA changes.



Ryc. 3. Piasek Zębiec otarty. Frakcja drobna po oszlamowaniu. Wykres zmian GTA.

Fig. 3. Zębiec sand grated. Fine fraction after cleaning. Diagramme of GTA changes.

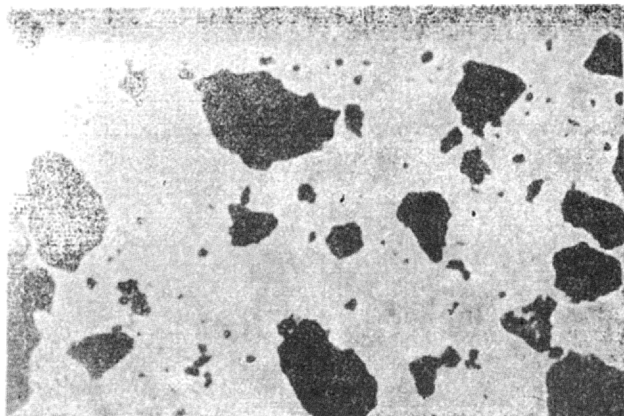
przednio. Odpad wyodrębniony w polu magnetycznym 18 kGs (10A). W zasadzie obraz mikroskopowy tej próbki jest zbliżony do obrazu próbki poprzedniej. Różnice polegają na wyraźnie grubszym uziarnieniu. Zależność ta występuje po raz wtóry na ryc. 6. Drugą różnicą jest większy udział ziarn stanowiących zrosty kwarcowo-limonityczne. W zrostach takich spotyka się nieco większy udział kwarcu niż zaobserwowano w próbce poprzedniej. Ilość odpadu 27,8% o zawartości 20,38% Fe_2O_3 .

3. Badanie produktów wyodrębnionych w polach magnetycznych 4 kGs, 15 kGs, 18 kGs (1A, 5A i 10A). Najwięcej zanieczyszczeń w postaci samoistnych ziarn limonitu i zrostów kwarcowo-limonitowych obserwuje się w próbce separowanej przy 4 kGs (1A9, ryc. 7). Ilość produktu — 93,8% o zawartości 5,26% Fe_2O_3 . Produkty otrzymywane przy większym natężeniu pola magnetycznego wykazują mniej tych zanieczyszczeń (ryc. 8 i 9). W polu o natężeniu 15 kGs — ilość produktu 74,9% o zawartości 1,75% Fe_2O_3 .

Występowanie rozmaitych ziarn limonitu w próbkach otrzymanych przy wyższym natężeniu pola magnetycznego jest zjawiskiem rzadkim. Zrosty wykazują również stosunkowo mały udział limonitu. Obraz mikroskopowy obu ostatnich próbek jest bardzo zbliżony. Ilość produktu po separacji w polu o natężeniu 18 kGs — 72,16% o zawartości 1,5% Fe_2O_3 .

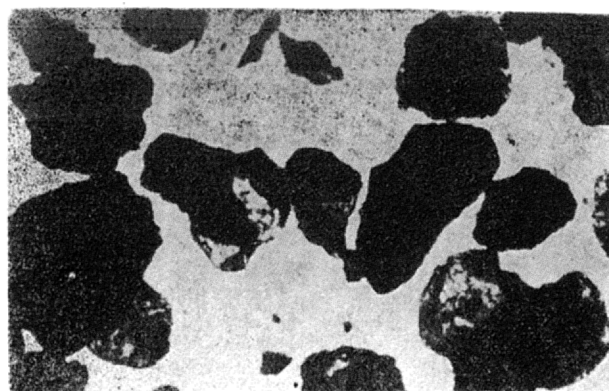
Ze względu na różnice ciężarów właściwych kwarcu i innych minerałów, występujących w piasku, przeprowadzono rozdzielanie w bromoformie — po uprzednim odeszlamowaniu próbki piasku popłuczkowego od materiału drobnego o uziarnieniu poniżej 0,1 mm. W wyniku rozdzielania otrzymano produkt i odpad, które badano pod mikroskopem określając zawartość tlenku żelazowego metodą chemiczną:

a) badanie frakcji ciężkiej wydzielonej w bromoformie. Próbkę stanowią prawie wyłącznie ziarna limonitu, wyraźnie ostrokrawędziste, o kształtach nieregularnych. Tylko nielicznie występują tu zrosty kwarcowo-limonityczne, a sporadycznie ziarna kwarcu z intensywnymi otoczkami limonitycznymi (ryc. 10). Analiza chemiczna tej frakcji wykazała zawartość 40,8% Fe_2O_3 .



Ryc. 4. Piasek Zębiec. Odpad z separatora magnetycznego pracującego przy 4 kGs (1 A), pow. 20 X.

Fig. 4. Zębiec sand. Waste matter from magnetic separator working at 4 kGs (1 A); X 20.



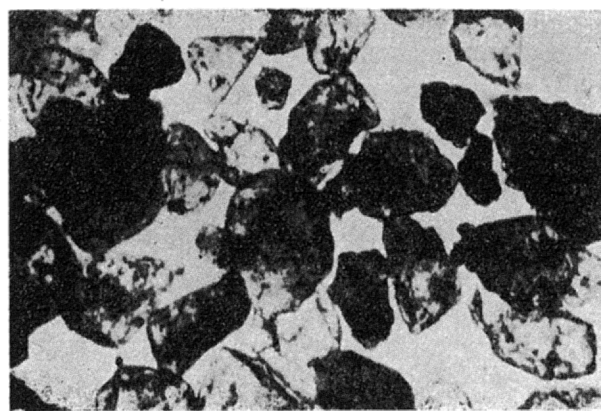
Ryc. 5. Piasek Zębiec. Odpad z separatora magnetycznego pracującego przy 15 kGs (5 A), pow. 20 X.

Fig. 5. Zębiec sand. Waste matter from magnetic separator working at 15 kGs (5 A); X 20.



Ryc. 6. Piasek Zębiec. Odpad z separatora magnetycznego pracującego przy 18 kGs (10 A), pow. 20 X.

Fig. 6. Zębiec sand. Waste matter from magnetic separator working at 18 kGs (10 A); X 20.



Ryc. 7. Piasek Zębiec. Produkt z separatora magnetycznego pracującego przy 4 kGs (1 A), pow. 20 X.

Fig. 7. Zębiec sand. Product from magnetic separator working at 4 kGs (1 A); X 20.

b) badanie frakcji lekkiej wydzielonej w bromofornie. Obraz mikroskopowy frakcji wykazuje, że przeważająca większość ziarn ma charakter zrębów kwarcowo-limonitycznych. Widać również samodzielne ziarna kwarcu. Intensywność otoczek limonitycznych na ziarnach kwarcu jest zmienna. Obserwuje się dużą ilość ziarn o stosunkowo czystej powierzchni (ryc. 11). Analiza chemiczna tej frakcji wykazała zawartość 5,2% Fe_2O_3 .

PRÓBA WZBOGACANIA SUROWCA W SKALI LABORATORYJNEJ

Wykonane badania laboratoryjne piasków popłuczkowych z Zębca pozwoliły na znalezienie właściwej metody wzbogacania. Przeprowadzenie procesu wzbogacania miało na celu dostosowanie piasków odpadowych z ZGH „Zębiec” do celów odlewnictwa. Norma na kwarcowe piaski odlewnicze BN-66/4021-12 precyzowała warunki, jakim powinien odpowiadać wzbogacony piasek z „Zębca”.

Proces wzbogacania podzielono na trzy etapy:

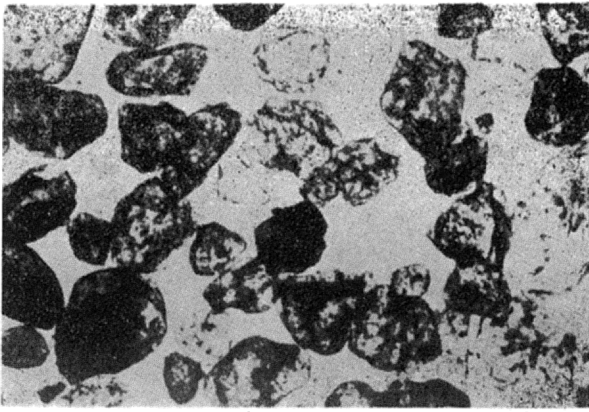
1) ujednorodnienie surowca przez odcięcie nadziarna 70,43 mm i podziarna 0,1 mm,

2) otarcie z powierzchni ziarn piasku nacieków limonitycznych i łąstych oraz ich odpłukanie,

3) wydzielenie z tak wzbogaconego surowca ziarn, zawierających w swojej masie wzrostki żelaziste lub ziarn silnie zanieczyszczonych powierzchniowo limonitem, poprzez separację elektromagnetyczną.

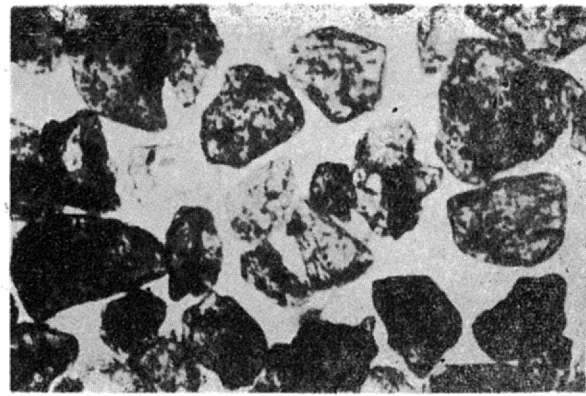
Próbkę laboratoryjną wzbogacania przeprowadzono na piasku II, który wykazywał najmniejszą jednorodność 81% oraz największą ilość zanieczyszczeń w postaci związków żelaza 9,27% Fe_2O_3 . Poprawę jednorodności uzyskano we wzbogaconym surowcu poprzez jego dokładne odszlamowanie na sicie 0,1 mm, w celu usunięcia z piasku substancji łąstych. Początkowa ilość ziarn 0,1 mm wynosiła w omawianym surowcu aż 10,69% (tab. I). Przeprowadzenie tego procesu, poza ujednocnieniem piasku, pozwoliło także na zmniejszenie ilości żelaza do wartości 7,09% Fe_2O_3 . Oddzielenia nadziarna 0,43 mm nie przeprowadzono ze względu na potrzebę późniejszego podziału wzbogaconego już piasku na dwie grupy pod względem uziarnienia (piasek średnioziarnisty — pozostałość na sicie: 0,43, 0,30 i 0,20 mm oraz piasek drobnoziarnisty — pozostałość na sicie: 0,30, 0,20 i 0,10 mm).

Następnym etapem wzbogacania było ocieranie uprzednio wzbogaconego już piasku w specjalnie do tego celu przygotowanym i przerobionym gniotowniku kołowym. Proces prowadzony był w sposób ciągły. Czas przebywania piasku w urządzeniu regulowano ilością podawanego surowca oraz obrotami



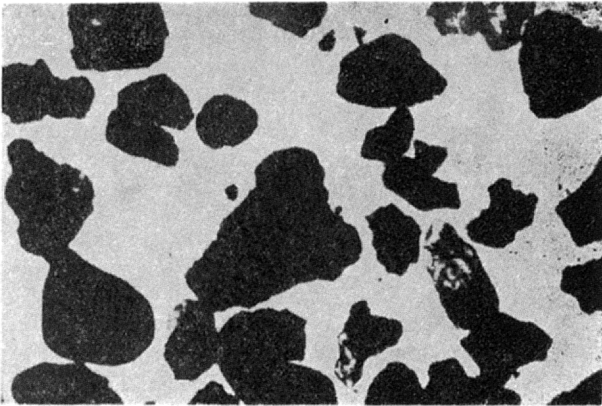
Ryc. 8. Piasek Zębiec. Produkt z separatora magnetycznego pracującego przy 15 kGs (5 a).

Fig. 8. Zębiec sand. Product from magnetic separator working at 15 kGs (5 a).



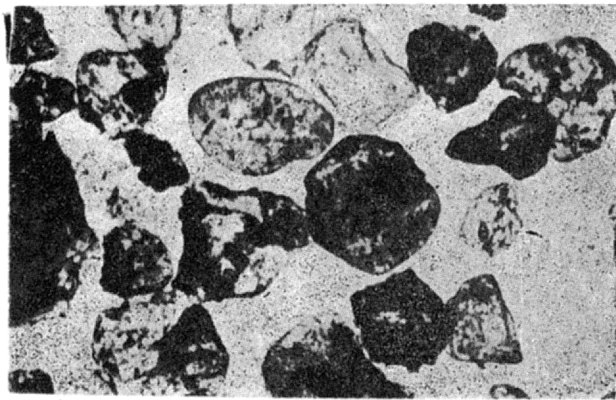
Ryc. 9. Piasek Zębiec. Produkt z separatora magnetycznego pracującego przy 18 kGs (10 A).

Fig. 9. Zębiec sand. Product from magnetic separator working at 18 kGs (10 A).



Ryc. 10. Piasek Zębiec. Frakcja ciężka piasku surowego wydzielona w bromoformie, pow. 20 X.

Fig. 10. Zębiec sand. Heavy fraction of raw sand separated by the use of bromoform; X 20.



Ryc. 11. Piasek Zębiec. Frakcja lekka piasku surowego wydzielona w bromoformie, pow. 20 X.

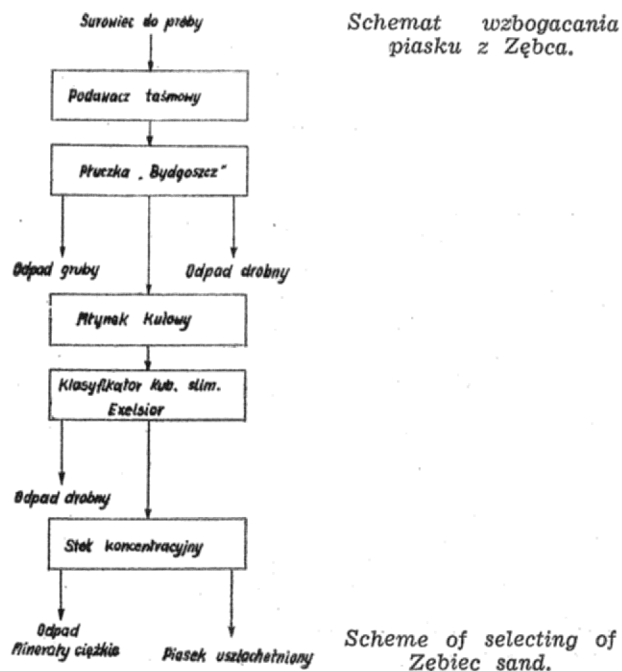
Fig. 11. Zębiec sand. Light fraction of raw sand separated by the use of bromoform; X 20.

biegunów. W warunkach przeprowadzonej próby czas ten wynosił ok. 1 min. Otarty już materiał był powtórnie szlamowany przy umyciu sita 0,1 mm. Proces ocierania pozwolił na usunięcie z ziarn piasku kwarcowego ok. 45% całkowitej ilości Fe_2O_3 w surowcu. Z zawartości 7,09% Fe_2O_3 w piasku przeznaczonym do wzbogacania, po otarciu i odszlamowaniu, uzyskano materiał zawierający tylko 3,77% Fe_2O_3 , ilość frakcji 0,1 mm powstała wskutek ocierania czynnika 14,3%.

Wzbogacony w ten sposób piasek kwarcowy wysuszono i poddano dalszej przeróbce za pomocą separatora elektromagnetycznego firmy Kruppa. Materiał o wilgotności poniżej 1% poddano separacji magnetycznej w polu o natężeniu 18 kGs. Produkt stanowił 91,40% wzbogaconego piasku i zawierał 0,77% Fe_2O_3 . Odpad magnetyczny w ilości 8,60% zawierał aż 31% Fe_2O_3 .

Piasek uzyskany po separacji elektromagnetycznej podzielono następnie na średnio- i drobnoziarnisty za pomocą klasyfikatora hydraulicznego. Obydwie frakcje ziarnowe piasku zawierały identyczne ilości tlenku żelazowego, przy czym piasek drobnoziarnisty odznaczał się większą jednorodnością 95% w porównaniu z piaskiem średnioziarnistym 90%.

Uzysk piasku wzbogaconego w stosunku do ilości przerobionego surowca nie był mierzony ze względu na trudności w dopasowaniu urządzeń przerób-



czych wydajnościami oraz ze względu na rodzaje zastosowanych technologii: mokrą i suchą. Można go w przybliżeniu policzyć matematycznie biorąc pod uwagę ilości odpadów w czasie poszczególnych operacji wzbogacania. Wynosi on:

$$\text{uzysk} = 100 - 10,89 - \frac{89,31 \cdot 14,30}{100}$$

$$\frac{89,31 - 14,30 \cdot 8,6}{100} = 70\%$$

Całość operacji wzbogacania w rozbiću na jej poszczególne etapy przedstawiono w tab. II.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych opracowano właściwą metodę wzbogacania piasków odpadowych z ZGH „Zębiec”. Produkt wzbogacania jest piaskiem odlewniczym całkowicie odpowiadającym normie. Potwierdzeniem tego może

SUMMARY

The mining-metallurgy plant at Zębiec near Starachowice produces a concentrate of iron, so called "želgruda", of ferruginous sands occurring in its vicinity. After the concentration processes, a raw material for metallurgy with c. 85% Fe₂O₃ content, as well as remarkable amounts of residuary (post-flotational) sands are obtained. The iron oxide content in these residuary sands is yet quite high. This, as well as the resulting rusty colour make these sands difficult to sell. However, the sands are characterized by a high temperature of agglomeration, so it would be possible to adapt them to the requirements of founding, after elaborating suitable method of separation. The authors discuss the process of treating the sands according to the foundering requirements as an example of selecting a suitable separation method.

Tabela II
WZBOGACANIE PIASKÓW ODPADOWYCH W ZGH
„ZĘBIEC”

Operacja wzbogacania	Zawartość % Fe ₂ O ₃ w próbie	Uzysk % w stosunku do surowca przerobczego
piasek odpadowy z ZGH „Zębiec”	9,27	100,00
piasek szlamowy na sicie 0,1 mm	7,06	89,31
piasek szlamowany i ocierany na gniotowniku oraz szlamowany powtórnie na sicie 0,1 mm	3,77	76,55
piasek j.w. wzbogacony elektromagnetycznie	0,77	70,10

być opinia Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, któremu próbki wzbogaconego piasku zostały przesłane w celu określenia ich przydatności do odlewnictwa.

РЕЗЮМЕ

Горно-Металлургический завод в местности Зембец близ г. Старачовице перерабатывает железистые пески из близлежащего месторождения и производит концентрат железа, так называемую „желгруду”. Процесс обогащения позволяет получить металлургическое сырье с содержанием Fe₂O₃ около 85%, а также большое количество отходов в виде промытых песков, в которых все еще содержится довольно много железа.

В связи с высоким содержанием Fe₂O₃ и обусловленным этим ржавым цветом песков на них трудно найти потребителя. Так как эти пески отличаются высокой температурой спекания возникает возможность использования их в литейной промышленности, после разработки соответствующего метода обогащения. Авторы дают пример такого метода и описывают процесс обработки рассматриваемых песков согласно требованиям литейной промышленности.