

Ryszard KRUKIEWICZ

Instytut Metalurgii Żelaza
Gliwice

ZWIEKSZENIE SKUTECZNOŚCI ROZDZIAŁU MAGNETYCZNEGO
DROBNYCH ZIARN W WYNIKU WSPÓŁDZIAŁANIA STAŁEGO
I ZMIENNEGO POLA MAGNETYCZNEGO

1. Wstęp

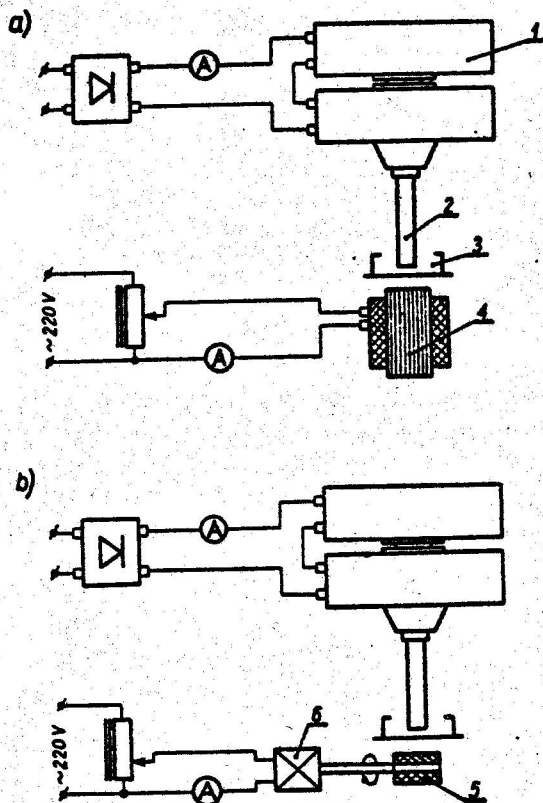
Konieczność wzbogacania coraz bardziej drobnoziarnistych surowców mineralnych sprawia, że na przebieg procesu magnetycznego wzbogacania zaczyna coraz silniej oddziaływać negatywny wpływ flokulacji magnetycznej. Z tego powodu wiele uwagi poświęca się badaniom mającym na celu opracowanie nowych sposobów dla przeciwdziałania skutkom flokulacji magnetycznej.

Jednym z najprostszych sposobów wzbogacania magnetycznego bardzo drobnych ziarn jest prowadzenie procesu separacji na mokro z jednoczesnym stosowaniem agitacji mechanicznej. Sposobem tym można, po zastosowaniu odpowiedniej ilości separacji czyszczących, uzyskać koncentraty o zadowalającej jakości. W przypadku konieczności wzbogacania magnetycznego drobnoziarnistej nadawy na sucho, istnieją również sposoby pozwalające z mniejszym lub większym skutkiem ograniczyć flokulację, a tym samym uzyskać koncentraty o zadowalającej jakości. Stosuje się tu separatory ze zmiennym polem magnetycznym, gdzie źródłem zmiennego pola są wirujące magnesy lub elektromagnesy zasilane prądem zmiennym.

W ostatnich latach prowadzone są w Instytucie Metalurgii Żelaza badania nad wzbogacaniem bardzo drobnych ziarn w ośrodku wytworzonym przez równoczesne działanie stałego i zmiennego pola magnetycznego. W tej pracy przedstawiono wyniki badań nad określeniem podstawowych parametrów opracowanego sposobu separacji oraz przedstawiono wyniki wzbogacania uzyskane przy zastosowaniu tego sposobu. Określono skalę wpływu natężenia stałego i zmiennego pola magnetycznego oraz wpływ częstotliwości zmiennego pola magnetycznego.

2. Metody badań

Na rys. 1 przedstawiono stanowisko badawcze pozwalające na prowadzenie prób rozdzielu magnetycznego przy różnych natężeniach stałego i zmiennego pola magnetycznego. Źródłem stałego pola magnetycznego jest



Rys. 1. Zestaw urządzeń dla prowadzenia badań nad wzbogacaniem magnetycznym w stałym i zmiennym polu

1 - elektromagnes, 2 - nabiegunnik elektromagnesu, 3 - pojemnik na próbki, 4 - cewka zasilana prądem zmiennym, 5 - magnesy, 6 - silnik z licznikiem obrotów.

i po naczepieniu się ziarn na powierzchnię nabiegunnika włączano zmienne pole magnetyczne. Sposób "b" polegał na tym, że po wsypaniu materiału do pojemnika najpierw włączano zmienne pole magnetyczne a następnie stałe pole magnetyczne. Obie przedstawione wersje mogą być realizowane w praktyce wzbogacania magnetycznego.

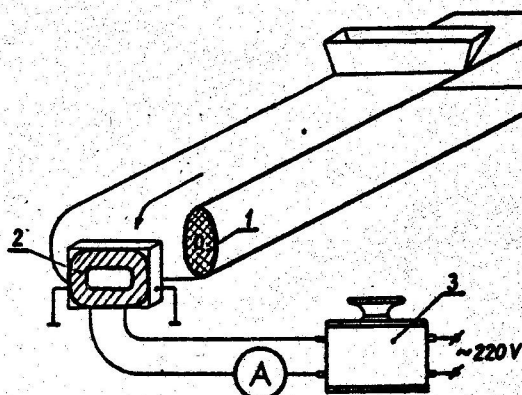
elektromagnes pozwalający na uzyskiwanie natężenia pola do ok. 1600 Oe (130 kA/m). Źródłem zmiennego pola magnetycznego jest cewka zasilana prądem zmiennym umożliwiającą uzyskanie natężenia pola do ok. 500 Oe (40 kA/m). Dla prowadzenia prób z zastosowaniem jako źródła zmiennego pola wirujących magnesów, umieszczano w miejsce cewki magnesy stałe umocowane na osi silnika o regulowanej prędkości obrotowej. Natężenie zmiennego pola magnetycznego regulowano przez zmianę odległości wirującego magnesu od dna naczynka z próbką.

Do badań nad rozdzielaniem magnetycznym używano mieszaninę magnetytu i piasku o uziarnieniu 0,125-0,063 mm i 0,063-0,036 mm. Magnetyt zawierał 70,0 % Fe, piasek poniżej 0,05 % Fe.

Skład mieszanki 50 % magnetytu i 50 % piasku.

Sposób prowadzenia prób był następujący; sposób tzw. "a" polegał na tym, że po wysypaniu do pojemnika próbki włączano stałe pole magnetyczne

Próby wzbogacania w sposób ciągły przeprowadzono na separatorze taśmowym, którego schemat przedstawiono na rys. 2. Bęben napędowy separatora stanowiły magnesy stałe. Natężenie pola magnetycznego mierzone



Rys. 2. Schemat instalacji źródła zmiennego pola magnetycznego dla wzbogacania na separatorze taśmowym

1 - źródło stałego pola magnetycznego (rolka napędowa wykonana z magnesów), 2 - źródło zmiennego pola magnetycznego (cewka), 3 - autotransformator

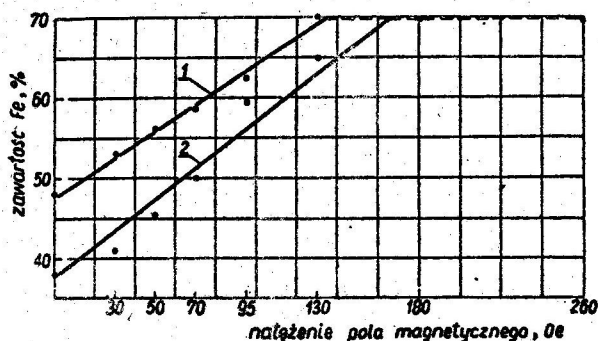
na powierzchni taśmy wynosiło ok. 900 Oe (70 kA/m). Źródłem zmiennego pola magnetycznego była cewka zasilana prądem zmiennym (jak pokazano na rys. 2) oraz wirujące magnesy, które instalowano w miejsce cewki. Nadawę na separację stanowiła mieszanina magnetytu i piasku o uziarnieniu poniżej 0,5 mm. Doświadczenie prowadzono w ten sposób, że po ustaleniu odpowiedniego natężenia zmiennego pola magnetycznego uruchomiano separator i podawano w sposób ciągły nadawę na taśmę. Po wykonaniu próby określano zawartość części magnetycznych w koncentracie a następnie wyliczano wskaźnik wzbogacenia $W = \frac{Y_o}{Y_p} 100, \%$

gdzie; Y_o - ilość usuniętego piasku z nadawy,
 Y_p - zawartość piasku w nadawie.

Badania, których wyniki przedstawiono w referacie dotyczą rozdziału magnetycznego na sucho.

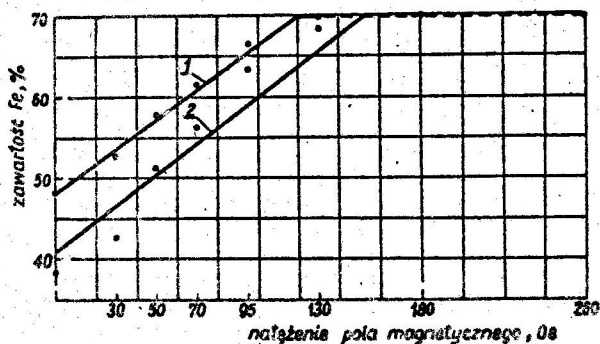
3. Wyniki doświadczeń

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki rozdziału magnetycznego nadawy o różnym uziarnieniu przy zastosowaniu wirujących magnesów jako źródła zmiennego pola - wykonywanego według sposobu "a", na rysunku 4 przedsta-



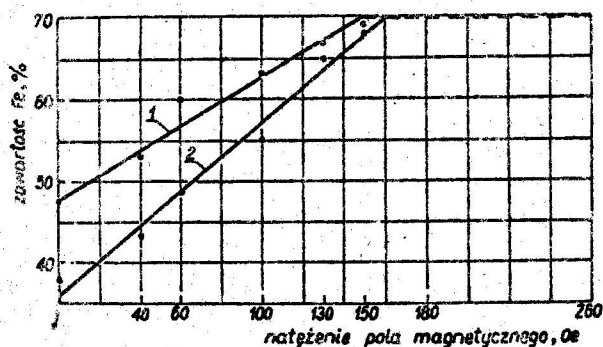
Rys. 3. Wpływ natężenia zmiennego pola na jakość koncentratu

(wirujące magnesy - sposób "a", 1 - uziarnienie 0,125-0,063 mm, 2 - uziarnienie 0,063-0,036 mm)



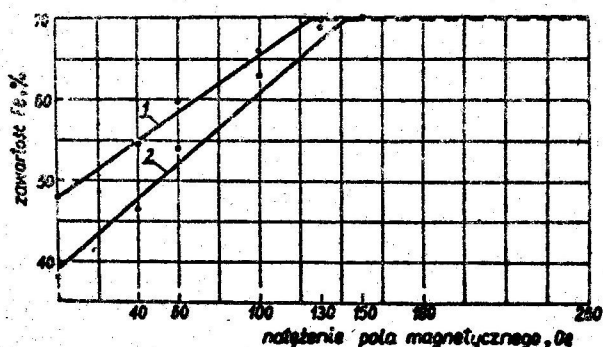
Rys. 4. Wpływ natężenia zmiennego pola na jakość koncentratu

(wirujące magnesy - sposób "b", 1 - uziarnienie 0,125-0,063 mm, 2 - uziarnienie 0,063-0,036 mm)



Rys. 5. Wpływ natężenia zmiennego pola na jakość koncentratu

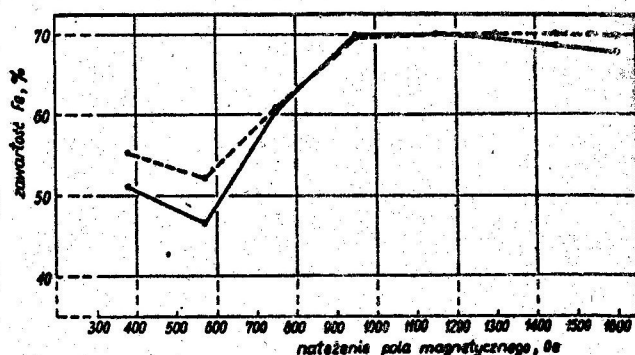
(cewka zasilana prądem zmiennym - sposób "a", 1 - uziarnienie 0,125-0,063 mm, 2 - uziarnienie 0,063-0,036 mm)



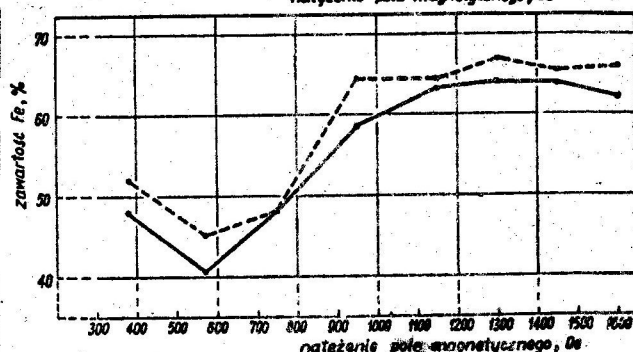
Rys. 6. Wpływ natężenia zmiennego pola na jakość koncentratu

(cewka zasilana prądem zmiennym - sposób "b", 1 - uziarnienie 0,125-0,063 mm, 2 - uziarnienie 0,063-0,036 mm)

Rys. 7. Wpływ zmian natężenia stałego pola na jakość koncentratu (natężenie zmiennego pola 400 Oe - uziarnienie 0,125-0,063 mm, linia ciągła - sposób "a", linia przerywana - sposób "b")



Rys. 8. Wpływ zmian natężenia stałego pola na jakość koncentratu (natężenie zmiennego pola 400 Oe - uziarnienie 0,063-0,036 mm, linia ciągła - sposób "a", linia przerywana - sposób "b")



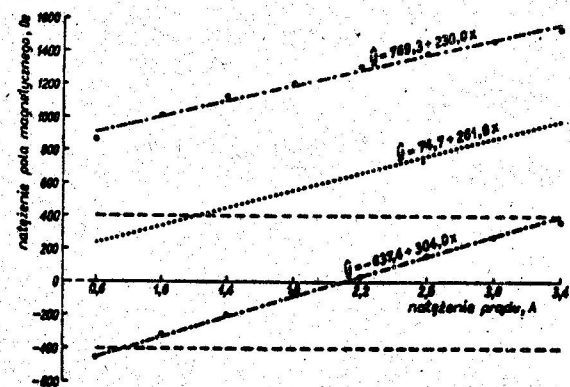
wiono wyniki rozdzielu magnetycznego wykonywanego według sposobu "b". Obserwuje się wyraźny dodatni wpływ zastosowania zmiennego pola magnetycznego, którego dodatnie skutki są coraz widoczniejsze w miarę wzrostu natężenia pola. Podobnie pozytywne wyniki uzyskano przy zastosowaniu cewki zasilanej prądem zmiennym w miejsce wirujących magnesów (rys. 5 i 6). Można zaobserwować nieco lepsze wyniki separacji wykonywanej według sposobu "b".

Podczas prób, których wyniki przedstawiono powyżej, użyto w miejsce elektromagnesu - stałego magnesu o natężeniu pola na powierzchni nabiegunknika ok. 700 Oe (55 kA/m). Pozostałe próby wykonywano przy użyciu elektromagnesu jako źródła stałego pola magnetycznego.

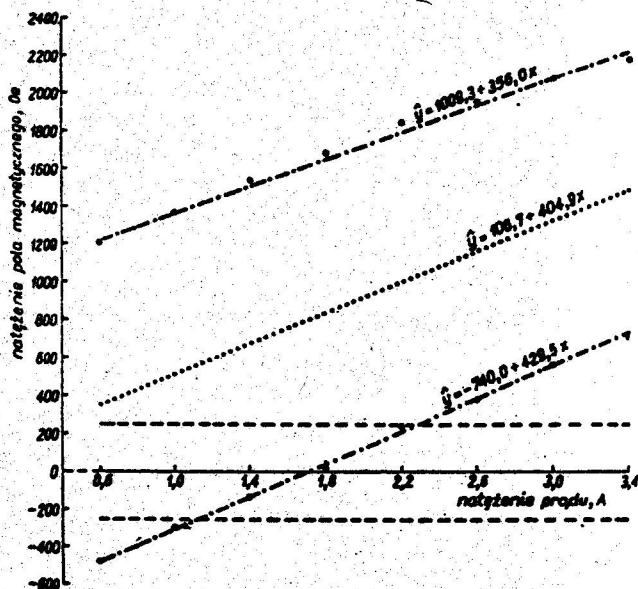
Na rys. 7 i 8 przedstawiono wyniki rozdzielu magnetycznego próbek o różnym uziarnieniu przy wzrastającym natężeniu stałego pola magnetycznego do ok. 1600 Oe (130 kA/m) i natężeniu zmiennego pola wynoszącym 400 Oe (32 kA/m). W miarę wzrostu natężenia stałego pola magnetycznego do ok. 600 Oe następował spadek jakości produktu magnetycznego, dalszy wzrost natężenia stałego pola magnetycznego do ok. 1000 Oe (80 kA/m) powodował wyraźny wzrost zawartości żelaza w produkcie magnetycznym. Powyżej 1000 Oe nie obserwowano istotnych zmian w jakości produktu magnetycznego. Nieznacznie lepsze wyniki wzbogacania uzyskano przy zastosowaniu sposobu "b". Całkowite przejście żelaza do produktu magnetycznego

osiąga się przy natężeniu stałego pola magnetycznego powyżej 700 Oe (100 % uzysku).

Na rysunku 9 przedstawiono wyniki pomiarów natężeń wypadkowych pól magnetycznych uzyskiwanych w skutek nakładania się linii sił zmiennego pola magnetycznego o natężeniu 400 Oe i stałego pola magnetycznego o natężeniu zmieniającym się od ok. 200 do 900 Oe (pomiaru dokonywano na powierzchni dna naczynka na próbce). Na rysunku 10 przedstawiono wyniki pomiaru wypadkowych natężeń pól magnetycznych dokonywanych na powierzchni nabiegownika elektromagnesu. Natężenie zmiennego pola magnetycznego było w tym miejscu niższe i wynosiło ok. 250 Oe a natężenie stałego pola magnetycznego odpowiednio wyższe i zmieniało się od ok. 300 do 1500 Oe. Z przedstawionych na rys. 9 i 10 wykresów widać, że wypadkowe pole



Rys. 9. Wyniki pomiarów wypadkowych natężeń pól magnetycznych. Pomiary wykonane na powierzchni dna naczynka z próbka (natężenie zmiennego pola 400 Oe - natężenie stałego pola warstajace do ok. 900 Oe)

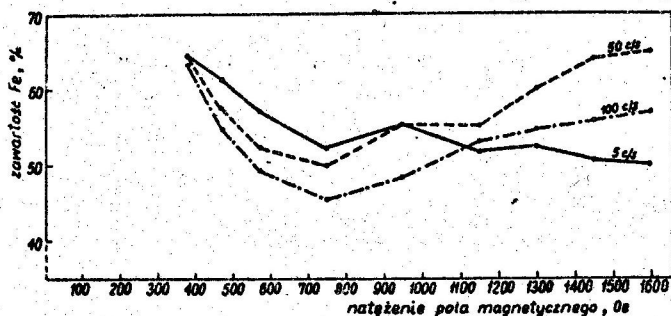


Rys. 10. Wyniki pomiarów wypadkowych natężeń pól magnetycznych. Pomiary wykonane na powierzchni nabiegownika elektromagnesu (natężenie zmiennego pola 250 Oe - natężenie stałego pola warstajace do ok. 1500 Oe)

magnetyczne jest sumą lub różnicą natężenia stałego i zmiennego pola, powiększoną o przyrost natężenia pola wynikający z umieszczenia naprzeciw siebie źródeł stałego i zmiennego pola magnetycznego. Widoczne na rysunkach równoległe położenie prostych charakteryzujących natężenie wypadkowych pól magnetycznych i prostej ilustrującej przebieg zmian natężenia stałego pola magnetycznego świadczy, że przyrost natężenia stałego pola nie wpływa na amplitudę zmian wypadkowego pola magnetycznego. Zwiększenie natężenia stałego pola magnetycznego powoduje proporcjonalny wzrost wartości wypadkowych pól magnetycznych i tak np. przy natężeniu stałego pola 400 Oe wypadkowe pole zmienia się od 1500 do 250 Oe a przy natężeniu stałego pola 900 Oe wypadkowe pole osiąga wartości od 1500 do 320 Oe.

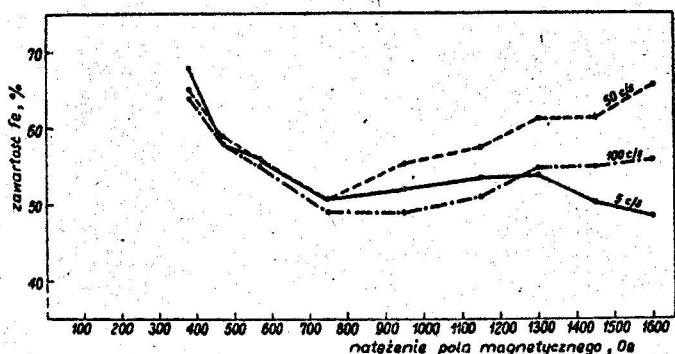
Na rysunkach 11 do 14 przedstawiono w postaci graficznej wyniki badań nad określeniem wpływu częstotliwości zmiennego pola magnetycznego na zawartość żelaza w produkcie magnetycznym. Natężenie zmiennego pola wynosiło 200 Oe (wirujące magnesy), natężenie stałego pola zmieniło się ok. 400 do 1600 Oe. Częstotliwość zmiennego pola wynosiła 5, 50 i 100 cykli/sek. Jak widać z przedstawionych na rysunkach 11 do 14 wykresów, na skutek przyrostu natężenia pola stałego do ok. 700 Oe następuje zmniejszenie zawartości żelaza w produkcie magnetycznym. W miarę dalszego zwiększania natężenia stałego pola magnetycznego obserwuje się wzrost jakości koncentratu. W zależności jednak od ilości cykli zmian częstotliwości zmiennego pola magnetycznego oraz separacji "a" lub "b", ilość żelaza w koncentracie jest różna. Różnica w zawartości żelaza w koncentracie spowodowana jedynie zmianą częstotliwości pola, dochodzi w skrajnych przypadkach do 20 %. Jak widać to np. na rys. 13, przy natężeniu stałego pola 1600 Oe w zależności od częstotliwości zmiennego pola, zawartość żelaza w produkcie magnetycznym zmienia się od około 40 % przy 5 c/sek do około 60 % przy 50 c/sek. Należy zwrócić uwagę, że bez względu na uziarnienie próbki oraz sposób separacji "a" lub "b", najlepszą jakość koncentratu przy natężeniu stałego pola pow. 1300 Oe uzyskiwano, kiedy częstotliwość zmiennego pola magnetycznego wynosiła 50 c/sek, gorszą przy 100 c/sek a najgorszą przy 5 c/sek. Skala wpływu częstotliwości zmiennego pola na jakość koncentratu jest różna i zależy - jak widać na wykresach - od natężenia stałego pola magnetycznego. Wyodrębnić można pewne zakresy wartości stałego pola, w obrębie których wpływ częstotliwości zmiennego pola magnetycznego jest mały. Dotyczy to przede wszystkim niższych natężeń do ok. 900 Oe.

Na rys. 15 i 16 pokazano krzywe ilustrujące zmiany jakości produktu magnetycznego pod wpływem zmieniających się częstotliwości pola magnetycznego. Pomiarów dokonywano przy natężeniu stałego pola 950 i 1600 Oe. Jak widać z przedstawionych na rys. 15 i 16 rezultatów badań, opty-



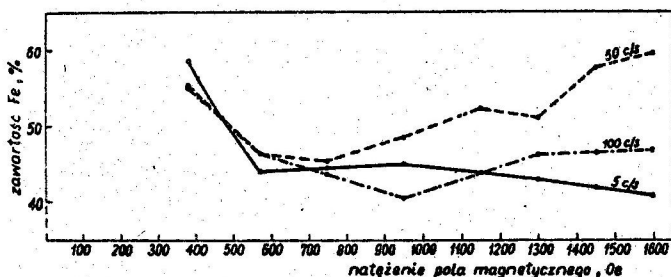
Rys. 11. Wpływ natężenia stałego pola na jakość koncentratu w zależności od częstotliwości zmiennego pola magnetycznego

(natężenie zmiennego pola 200 Oe - sposób "a" - uziarnienie 0,125-0,063 mm)



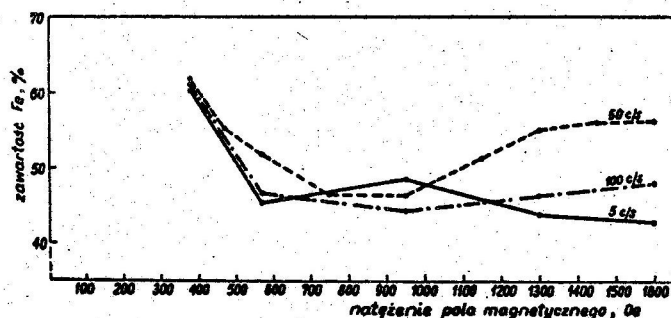
Rys. 12. Wpływ natężenia stałego pola na jakość koncentratu w zależności od częstotliwości zmiennego pola magnetycznego

(natężenie zmiennego pola 200 Oe - sposób "b" - uziarnienie 0,125-0,063 mm)



Rys. 13. Wpływ natężenia stałego pola na jakość koncentratu w zależności od częstotliwości zmiennego pola magnetycznego

(natężenie zmiennego pola 200 Oe - sposób "a" - uziarnienie 0,063-0,036 mm)



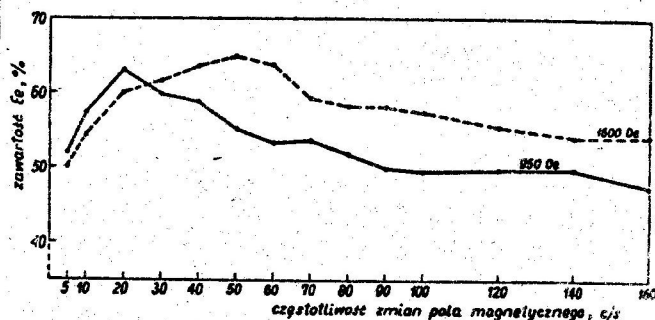
Rys. 14. Wpływ natężenia stałego pola na jakość koncentratu w zależności od częstotliwości zmiennego pola magnetycznego

(natężenie zmiennego pola 200 Oe - sposób "b" - uziarnienie 0,063-0,036 mm)

malną jakość koncentratu uzyskuje się przy różnych częstotliwościach zmiennego pola magnetycznego w zależności od zastosowanego natężenia stałego pola. Przy natężeniu stałego pola 950 Oe najlepsze wyniki uzyskiwano dla częstotliwości od 20 do 30 c/sec a dla natężenia stałego pola 1600 Oe przy częstotliwości ok. 50 c/sec. Zwiększenie częstotliwości zmiennego pola magnetycznego powyżej 50 c/sec - bez względu na natężenie stałego pola - powodowało pogorszenie się jakości produktu magnetycznego. Należy zwrócić uwagę, że przy częstotliwościach przekraczających wartość ok. 30 c/sec, jakość koncentratu uzyskiwanego przy natężeniu stałego pola 1600 Oe była zawsze lepsza od tej jaką uzyskiwano gdy natężenie stałego pola wynosiła 950 Oe.

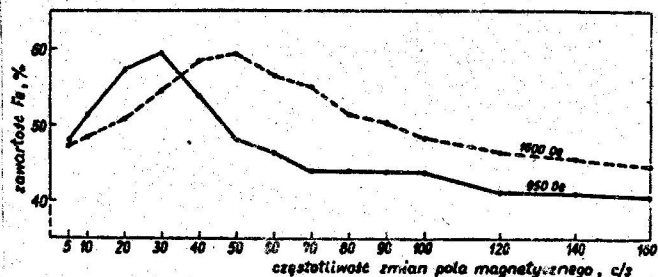
Rys. 15. Wpływ zmian częstotliwości pola magnetycznego na jakość koncentratu

(natężenie zmiennego pola 200 Oe - sposób "a" - uziarnienie 0,125-0,063 mm)



Rys. 16. Wpływ zmian częstotliwości pola magnetycznego na jakość koncentratu

(natężenie zmiennego pola 200 Oe - sposób "a" - uziarnienie 0,063-0,036 mm)



W tablicy 1 przedstawiono wyniki wzbogacania magnetycznego na separatorze taśmowym przy zastosowaniu jako źródła zmiennego pola magnetycznego wirującego magnesu i cewki zasilanej prądem zmiennym. Jak widać z przedstawionych wyników zastosowanie zmiennego pola magnetycznego w zdecydowany sposób wpływa na jakość produktów separacji. Bez użycia zmiennego pola magnetycznego usunięcie ok. 90 % zanieczyszczeń (piasku) wymaga pięciu lub sześciu czyszczeń produktu magnetycznego. W przypadku zastosowania wirującego magnesu jako źródła zmiennego pola o natężeniu ok. 380 Oe po jednym czyszczeniu zdołano usunąć powyżej 98 % piasku a w wyniku zastosowania cewki jako źródła zmiennego pola magnetycznego o natężeniu ok. 300 Oe możliwe było usunięcie powyżej 97 % piasku po dwu

Tablica 1

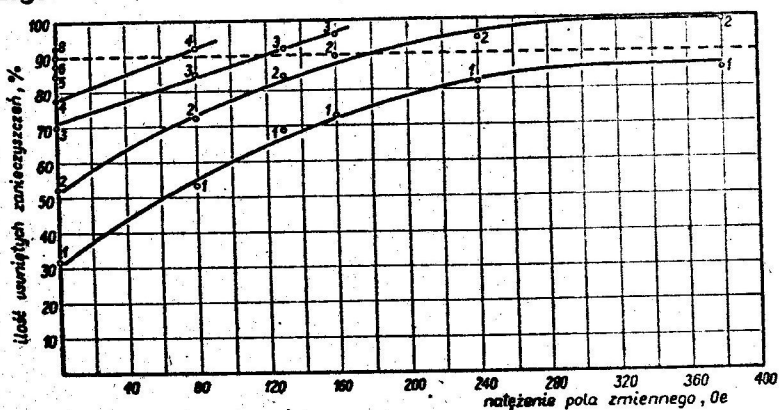
Wyniki separacji magnetycznej na separatorze taśmowym przy zastosowaniu wirujących magnesów i cewki jako źródła zmiennego pola magnetycznego

Nr separacji	Wirujące magnesy		Cewka	
	Natężenie pola Oe		Natężenie pola Oe	
	0	380	0	300
	$W = \frac{Y_0}{Y_p} \cdot 100 \%$	$W = \frac{Y_0}{Y_p} \cdot 100 \%$	$W = \frac{Y_0}{Y_p} \cdot 100 \%$	$W = \frac{Y_0}{Y_p} \cdot 100 \%$
I	31,6	85,0	39,6	70,2
II	52,2	98,4	56,8	87,6
III	63,8	-	70,2	97,4
IV	77,0	-	78,2	-
V	84,2	-	85,8	-
VI	87,2	-	90,0	-
VII	89,8	-	94,0	-

czyszczeniach produktu magnetycznego.

Na rys. 17 przedstawiono w postaci wykresów wyniki wzbogacania przy różnym natężeniu zmiennego pola magnetycznego, którego źródłem był wirujący magnes. Jak widać z przedstawionych krzywych efekt wzrostu natężenia zmiennego pola jest bardzo duży.

Wyniki prób separacji na separatorze taśmowym wykazały dużą skuteczność zastosowania wirującego magnesu jako źródła zmiennego pola magnetycznego.



Rys. 17. Wpływ natężenia zmiennego pola magnetycznego na skuteczność wzbogacania na separatorze taśmowym (źródło zmiennego pola - wirujące magnesy). Na krzywych oznaczono kolejne stopnie separacji.

4. Omówienie wyników doświadczeń

Przeprowadzone doświadczenia nad wzbogacaniem w ośrodku wytworzonym przez współdziałanie stałego i zmiennego pola magnetycznego wykazały, że zastosowanie wspomnianej metody pozwala na prowadzenie separacji magnetycznej bardzo drobnych ziarn z dużą skutecznością rozdziału.

O przebiegu procesu wzbogacania decyduje przede wszystkim;

- natężenie zmiennego pola magnetycznego,
- natężenie stałego pola magnetycznego,
- częstotliwości zmiennego pola magnetycznego.

Określono skalę wpływu wymienionych czynników na wyniki separacji, która przejawia się w jakości otrzymywanych koncentratów. Przedstawione w pracy osiągnięcia zawartości żelaza w produkcie magnetycznym dotyczą konkretnych warunków prowadzenia prób i rodzaju wzbogacanego materiału. Pokazują wzajemne oddziaływanie na przebieg procesu takich czynników jak natężenie stałego i zmiennego pola magnetycznego, częstotliwości pola, uziarnienie nadawy i sposób prowadzenia separacji. Znajomość skali wpływu poszczególnych czynników umożliwia ustalanie optymalnych warunków wzbogacania konkretnego surowca.

Praktyczna realizacja opracowanego sposobu wzbogacania magnetycznego jest bardzo prosta. Sprowadza się ona - jak to widać na rys. 2 - do zainstalowania naprzeciw stałego magnesu separatora źródła zmiennego pola magnetycznego, którym może być elektromagnes lub wirujące magnesy. Wielkość natężenia zmiennego pola magnetycznego przy którym uzyskuje się dużą skuteczność rozdziału wynosi od ok. 200 do 600 Oe. Są to wielkości łatwe do uzyskania.

Wykazano, że wzrost natężenia stałego pola w zakresach wymaganych dla zapewnienia 100 % uzysku żelaza - przy pozostającym na tym samym poziomie natężeniu zmiennego pola magnetycznego - powoduje poprawę jakości uzyskiwanych koncentratów. Jest to bardzo korzystne zjawisko dzięki któremu można podczas separacji magnetycznej realizować jednocześnie, sprzeczne ze sobą cele jakimi są wysoka jakość produktu magnetycznego i maksymalny uzysk żelaza.

5. Wnioski

1. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono dużą skuteczność metody separacji magnetycznej w ośrodku wytworzonym przez równoczesne działanie stałego i zmiennego pola magnetycznego.

2. Decydujący wpływ na jakość otrzymywanych koncentratów posiada

odpowiedni dobór natężeń stałego i zmiennego pola magnetycznego.

3. Istnieje ograniczony zakres częstotliwości, który w sposób istotny wpływa na polepszenie jakości koncentratu. Zakres ten wynosi od ok. 20 do 50 c/sec i zależy od natężenia stałego pola magnetycznego.

4. Stwierdzono, że prowadzenie separacji magnetycznej według sposobu "b" pozwala na uzyskanie nieco lepszej jakości koncentratu.

5. Próby separacji na separatorze taśmowym przy zastosowaniu stałego i zmiennego pola magnetycznego wykazały możliwość znacznego ograniczenia ilości czyszczeń produktu magnetycznego.

FINE PARTICLES SEPARATION IN THE JOINT STABLE AND VARIABLE MAGNETIC FIELDS

Results on magnetic separation of dry solids by the simultaneous usage of a stable and a variable magnetic fields have been presented. The effects of intensity of both fields and the frequency of the variable magnetic field on the separation of sand from magnetite-sand mixtures has been described. This new method has been found as effective and allowing to reduce the number of cleaning operations without decreasing the separation efficiency. The results of continuous separation by means of belt separator has also been shown.