

Izabela HUDYMA*

BADANIA MODELOWE NAD POWSTAWANIEM ŻELAZONIKLU W PROCESIE SEGREGACJI

Wykonano badania nad powstawaniem ziarn metalicznych w procesie segregacji w układach modelowych, utworzonych z chlorku niklu i krzemionki, nieznacznie zanieczyszczonej żelazem oraz zmiennych dodatków węgla, chlorku wapnia i zasadowej soli magnezu. Określono skład chemiczny tworzących się ziarn. Stwierdzono, że stopy niklu o podwyższonej zawartości żelaza powstają w niskich temperaturach, przy wprowadzeniu do próbek powyżej 2% węgla i podwyższonej ilości tlenu węgla w atomosferze reakcyjnej. Wysokoprocentowe stopy niklu otrzymuje się w warunkach procesu segregacji w temperaturach 1300-1400 K.

Wprowadzenie

Zdokumentowane zasoby niklu stwierdziły, że 80% złóż tworzą rudy siarczkowe, a pozostałe 20% rudy tlenkowe, zawierające minerały krzemianowe takie jak garnieryt i serpentynity. Wyczerpywanie się bogatych rud siarczkowych, wzbogaconych metodą flotacji i tlenkowych rud przerabianych klasyczną metodą metalurgii ogniowej spowodowało poszukiwanie nowych metod, pozwalających na ekonomiczne wykorzystanie ubogich rud tlenkowych. W przypadku, gdy metale tworzą lotne i trwałe chlorki, łatwo redukujące się, można próbować odzyskiwać pierwiastki użyteczne metodą segregacji. Proces ten odkryty w latach 20-tych [Moulden J.C., Taplin B., 1924] złożony jest z etapu chlorowania i redukcji. Efekt tworzenia chlorku metalu, a następnie jego redukcji do postaci wolnej uzyskuje się poprzez wprowadzenie do wsadu czynników chlorujących i redukujących, takich jak chlorek sodu lub wapnia oraz koks lub węgiel.

Obszerne badania nad procesem segregacji zostały wykonane dla tlenkowych rud miedzi [Rey M.R.W., 1976]. Kolejnym pierwiastkiem, który próbowano przeprowadzić w postaci metaliczną z rud tlenkowych lub tlenkowo-

*Instytut Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich, Politechniki Wrocławskiej, 50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27

-siarczokowych był nikiel [K. Nagano and all., 1970, Wright J.K., 1973]. Wysokoprocentowym rudom niklowym używanym przez badaczy amerykańskich, japońskich i jugosłowiańskich towarzyszy zazwyczaj żelazo, które w procesie segregacji ulega częściowo wychlorowaniu i redukcji. Niektórzy autorzy uważali, że wydzielanie metalicznego niklu występuje na podłożu żelaza [Hoover H. and all., 1975, Iwasaki I. and all., 1966] w tzw. reakcji cementacji. Reakcja ta byłaby reakcją charakterystyczną odróżniającą proces segregacji rud niklu od procesu segregacji innych metali. Autorka podważa ten pogląd na podstawie badań przeprowadzonych nad wydzielaniem niklu na krzemionce aktywowanej żelazem [Hudyma I., Laskowski J., 1978]. W literaturze nie było przeprowadzonych szczegółowych badań nad rodzajem i składem chemicznym wydzielanych ziarn metalicznych w procesie segregacji. Przedstawiona praca, wykonana na układach syntetycznych, uzupełnia tę lukę.

Materiały, metodyka badań

Próbki do badań przygotowano z krzemionki o uziarnieniu $>0,1$ mm i zawartości żelaza 0,037 i węgla o uziarnieniu 0,075–0,416 mm. Nikiel w ilości odpowiadającej krzemianowej rudzie niklowej, był wprowadzony do próbek z sześciowodnym chlorkiem niklu cz.d.a. produkcji POCh w Gliwicach. Czynnikiem chlorującym był sześciowodny chlorek wapnia, wprowadzony do próbek w ilości od 2–8%, cz.d.a. produkcji POCh w Gliwicach. Czynnikiem redukującym był węgiel, wprowadzony do próbek w ilości od 2–5%.

Celem uzyskania próbek o składzie zbliżonym do ubogich rud krajowych zawierających magnezyt, trzecią serię badań przeprowadzone z mieszkankami, zawierającymi od 2–8% $3 \text{ MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$ ch. cz. Badania segregacyjne prowadzono w temperaturach 1123–1373 K. Probki prażono w strumieniu azotu, przepływającego przez reaktor kwarcowy z szybkością $3 \text{ dm}^3/\text{h}$. Po schłodzeniu próbek w atmosferze azotu do temperatury pokojowej, oznaczano nikiel w postaci metalicznej metodą rodankową.

Wyniki badań

Badania nad rodzajem ziarn metalicznych, wydzielających się w procesie segregacji prowadzono w trzech seriach: oznaczono składy chemiczne metalicznych ziarn powstających przy stałej ilości reduktora i wzrastającej ilości czynnika chlorującego (seria 1), przy stałej ilości czynnika chlorującego i wzrastającej ilości czynnika redukcyjnego (seria 2), przy stałej ilości stałego reduktora i wzrastającym stężeniu dwutlenku węgla, pochodzącego z rozkładu zasadowej soli magnezowej (seria 3). Wszystkie próbki wygrzewano w temperaturach 1123, 1273, 1223, 1273, 1323 i 1373 K przez 30 minut. Oznaczono ilości niklu i żelaza, które przeszły w postać metaliczną. Otrzymane wyniki zestawiono w tabelach 1, 2 i 3.

Tabela nr 1

Zależność składu chemicznego ziarn metalicznych od zawartości
chlorku wapnia

Temperatura (K)	Uzysk (%)	Zawartość $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (% mas.)			
		2	4	6	8
1123	Ni	79,93	80,24	70,25	72,69
	Fe	16,59	16,37	14,23	17,05
1173	Ni	86,92	87,46	85,77	84,21
	Fe	15,86	14,09	15,10	17,16
1223	Ni	93,12	92,79	97,79	94,14
	Fe	15,56	13,15	14,28	16,00
1273	Ni	92,65	87,33	65,78	87,22
	Fe	17,16	12,94	10,58	13,10
1323	Ni	89,16	85,04	80,92	71,76
	Fe	17,72	12,48	13,04	13,61
1373	Ni	73,16	84,96	94,53	86,72
	Fe	18,59	13,09	14,39	19,79

Tabela nr 2

Zależność składu chemicznego ziarn metalicznych
od zawartości węgla

Temperatura (K)	Uzysk (%)	Zawartość węgla (% mas.)			
		2	3	4	5
1123	Ni	87,75	90,59	79,68	88,87
	Fe	29,06	54,41	96,80	81,43
1173	Ni	85,84	83,30	81,32	79,63
	Fe	83,84	82,40	91,78	73,92
1223	Ni	79,47	69,34	73,82	73,19
	Fe	61,20	66,21	99,00	85,60
1273	Ni	71,13	60,94	67,30	61,25
	Fe	49,15	77,75	70,82	78,12
1323	Ni	79,67	86,40	82,67	75,67
	Fe	13,73	15,00	14,56	16,02
1373	Ni	89,56	80,30	89,90	80,30
	Fe	14,92	15,96	15,83	15,97

Tabela nr 3

Zależność składu chemicznego ziarn metalicznych od zawartości
zasadowej soli magnezowej

Temperatura (K)	Uzysk (%)	Zawartość soli zasadowej (% mas.)			
		2	4	6	8
1123	Ni	27,96	12,16	10,56	5,51
	Fe	71,10	40,10	41,50	41,50
1173	Ni	15,50	14,77	11,90	9,20
	Fe	59,80	67,40	62,40	57,50
1223	Ni	7,70	10,80	14,72	17,26
	Fe	6,80*	29,80*	19,53*	15,71*
1273	Ni	63,90	21,08	21,03	44,76
	Fe	59,23	27,13	29,07	27,15
1323	Ni	66,09	58,82	46,19	28,36
	Fe	53,38	22,16	22,19	50,77
1373	Ni	86,35	87,40	44,90	92,89
	Fe	51,23	32,20	51,30	55,30

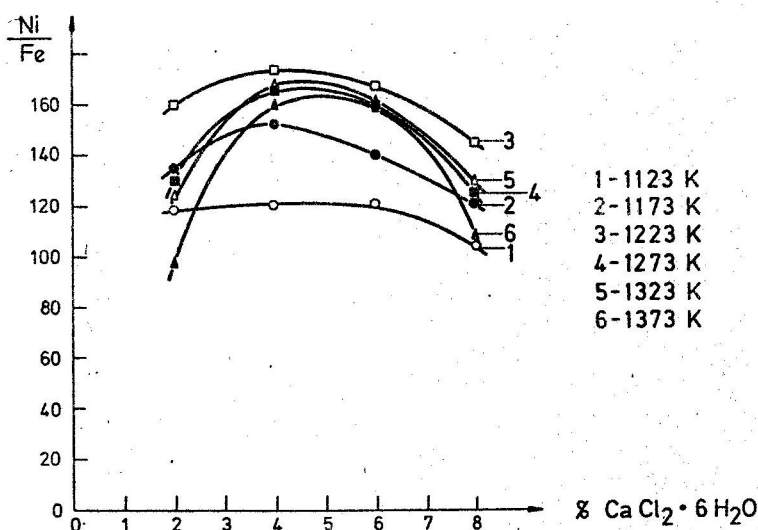
*0,056% Fe_{og}.

Próbki serii pierwszej utworzone były ze stałej ilości niklu i węgla, wynoszącej odpowiednio 3,5% $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ i 2% C. Ilości niklu i żelaza, które przeszły w postać metaliczną w próbkach zawierających: 2,4,6 i 8%

$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ wynosiły w temperaturze 1123 K średnio 75,8% Ni i 16,1% Fe, w temperaturze 1173 K – 86,1% Ni i 15,3% Fe, a temperaturze 1223 K – 94,5% Ni i 14,7% Fe, w temperaturze 1273 K – 83,2% Ni i 13,4% Fe, w temperaturze 1323 K – 81,7% Ni i 14,2% Fe oraz w temperaturze 1373 K – 84,8% Ni i 16,5% Fe.

W próbkach zawierających zwiększoną ilość czynnika redukującego, po prażeniu segregacyjnym w temperaturach od 1123 do 1273 K, uzyskano znaczne większe ilości żelaza metalicznego w porównaniu z próbkami z pierwszej serii badań. I tak w próbkach utworzonych z 3,5% $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ oraz zawierających od 2 do 5% węgla (seria 2), średnie ilości niklu i żelaza metalicznego wynosiły w temperaturze 1123 K – 86,7% Ni i 65,4% Fe, w temperaturze 1173 K – 82,5% Ni i 83,2% Fe, w temperaturze 1223 K – 73,9% Ni i 78% Fe, w temperaturze 1273 K – 65,2% Ni i 69% Fe, w temperaturze 1323 K – 81% Ni i 14,8% Fe oraz w temperaturze 1373 K – 82,8% Ni i 15,7% Fe.

Wprowadzenie od próbek obok 3,5% $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ i 2% węgla, zasadowej soli magnezowej $3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, będącej źródłem dwutlenku węgla, pogłębiło redukcyjną atmosferę procesu segregacji. Uzyskano znaczne ilości



Rys. 1. Skład ziaren metalicznych w zależności od zawartości chlorku wapnia

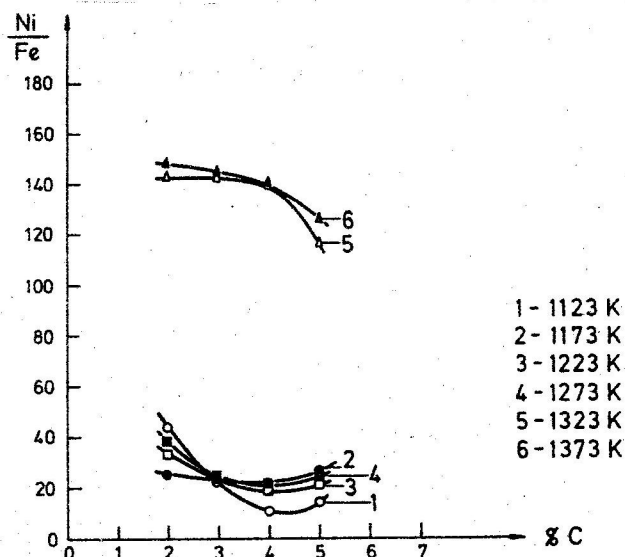
Fig. 1. The composition of metallic grains on the calcium chloride

żelaza metalicznego obok poważnie zmniejszonych ilości metalicznego niklu. W próbkach zawierających 2, 4, 6 i 8% zasadowej soli magnezu, średnie ilości niklu i żelaza metalicznego wynosiły w temperaturze 1123 K - 14,0% Ni i 48,6% Fe, w temperaturze 1173 K - 12,8% Ni i 61,8% Fe, w temperaturze 1223 K - 12,6% Ni i 18% Fe, w temperaturze 1273 K - 37,7% Ni i 35,6% Fe, w temperaturze 1323 K - 49,9% Ni i 37,1% Fe oraz w temperaturze 1373 K - 77,9% Ni i 47,5% Fe.

Skład ziaren metalicznych otrzymanych podczas prażenia trzech serii próbek, wyrażony stosunkiem niklu do żelaza, przedstawiono na rysunkach 1-3. W próbkach prażonych ze zmienną ilością czynnika chlorującego, stop o najwyższej zawartości żelaza (0,786% Fe) otrzymano w temperaturze 1123 K (rys. 1, krzywa 1). W temperaturach od 1173 do 1373 K ilości żelaza metalicznego maleją i wynoszą około 0,58% Fe (rys. 1, krzywe 2-6). W próbkach zawierających zmienną ilość stałego reduktora (węgla) otrzymuje się w zależności od temperatury prażenia dwa rodzaje stopu żelazoniklowego (rys. 2). W temperaturach od 1123 do 1273 K ziarna metaliczne składają się z niklu i około 4,5% żelaza, za wyjątkiem próbek zawierających 2% węgla, w których ilość żelaza spada do 2% (rys. 2, krzywe 1-4). W próbkach wygrzewanych w 1323 i 1373 K ilości żelaza metalicznego maleją i wynoszą około 0,7% (rys. 2, krzywe 5 i 6).

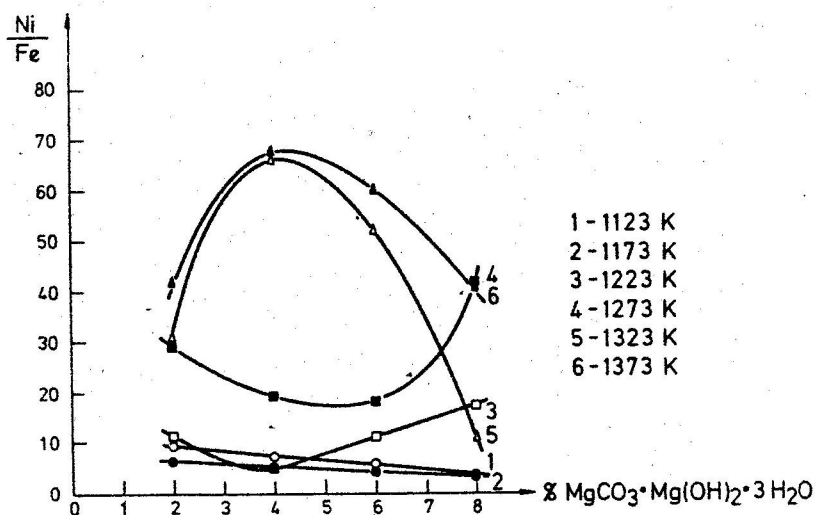
Podobnie dwa rodzaje stopu żelazoniklowego otrzymuje się w próbkach zawierających zmienną ilość zasadowej soli magnezowej (rys. 3). W prób-

kach wygrzewanych od 1123 K do 1223 K otrzymane ziarna są stopem żelazo-niklowym, zawierającym około 8,7% Fe (rys. 3, krzywe 1-3). Najwyżej procentowy stop niklu otrzymuje się podczas prażenia w temperaturach 1323 i 1373 K próbek zawierających 4% $3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Utworzone wówczas ziarna metaliczne zawierają około 1,4% żelaza.



Rys. 2. Skład ziarn metalicznych w zależności od zawartości węgla

Fig. 2. The composition of metallic grains on the carbon



Rys. 3. Skład ziarn metalicznych w zależności od zawartości zasadowej soli magnezu

Fig. 3. The composition of metallic grains on the magnesia alba

Interpretacja wyników

Podjęto próbę wyjaśnienia rodzaju powstających ziarn metalicznych w procesie segregacji w obecności zmiennych zawartości czynników chlorującego i redukcyjnego, przy pomocy analizy termodynamicznej. Zaproponowano reakcje chemiczne i obliczono dla nich zmiany potencjału termodynamicznego w badanych temperaturach procesu segregacji.

Tabela nr 4

Zmiany potencjału termodynamicznego reakcji procesu segregacji

Lp.	Reakcja chemiczna	Zmiana potencjału termodynamicznego			
		ΔG_{1100}°	ΔG_{1200}°	ΔG_{1300}°	ΔG_{1400}°
1.	$\text{NiO} + 2\text{HCl} = \text{NiCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+13,427	+6,322	+7,737	+4,314
2.	$\text{FeO} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,0054	+1,748	+3,049	+2,360
3.	$\text{NiO} + \text{Cl}_2 = \text{NiCl}_2 + 1/2\text{O}_2$	-3,542	-3,477	-3,812	-6,112
4.	$\text{FeO} + \text{Cl}_2 = \text{FeCl}_2 + 1/2\text{O}_2$	+9,632	+1,097	-34,71	-41,499
5.	$\text{NiO} + \text{C} + \text{Cl}_2 = \text{NiCl}_2 + \text{CO}$	-40,146	-50,973	-54,270	-50,397
6.	$\text{FeO} + \text{C} + \text{Cl}_2 = \text{FeCl}_2 + \text{CO}$	-52,520	-55,547	-57,988	-62,343
7.	$\text{NiCl}_2 + \text{H}_2 = \text{Ni} + 2\text{HCl}$	-24,459	-18,616	-19,132	-18,352
8.	$\text{FeCl}_2 + \text{H}_2 = \text{Fe} + 2\text{HCl}$	+3,065	+1,151	-0,361	+0,149
9.	$\text{NiO} + \text{CO} = \text{Ni} + \text{CO}_2$	-10,819	-10,774	-10,726	-10,676
10.	$\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$	+3,331	+3,846	+4,347	+4,879
11.	$\text{NiCl}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ni} + \text{CO}_2 + 2\text{HCl}$	-24,247	-17,096	-17,463	-15,990
12.	$\text{FeCl}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Fe} + \text{CO}_2 + 2\text{HCl}$	+3,271	+2,098	+1,308	-2,511
13.	$\text{Ni} + 2\text{HCl} = \text{NiCl}_2 + \text{H}_2$	+24,459	+18,043	+19,126	+18,352
14.	$\text{Fe} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$	-3,059	-1,151	+0,355	+0,149
15.	$\text{Ni} + 2\text{HCl} + 1/2\text{O}_2 = \text{NiCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-20,430	-25,506	-23,073	-22,480
16.	$\text{Fe} + 2\text{HCl} + 1/2\text{O}_2 = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-47,948	-44,700	-41,844	-40,989

Zebrane w tabeli 4 reakcje chemiczne obejmują etap chlorowania niklu i żelaza chlorowodorem i chlorem oraz etap redukcji do postaci wolnej form chlorkowych i tlenkowych obu metali w obecności wodoru i tlenku węgla. Pierwszych sześć reakcji przedstawionych w tabeli 4 ilustruje proces chlorowania tlenków niklu i żelaza chlorowodorem, chlorem oraz chlorem w obecności węgla. Zmiana potencjału termodynamicznego reakcji powstawania chlorków metali w obecności chloru i węgla jest szczególnie korzystna, ale wcześniejsze badania autorski [Hudyma I., 1977] nie potwierdziły występowania gazowego chloru w przestrzeni reakcyjnej w znacznych ilościach. W atmosferze reakcyjnej procesu segregacji dominuje chlorowódor i wodór.

W niskich temperaturach będzie uprzywilejowana zatem reakcja tworzenia chlorku żelaza (tabela 4, reakcja 2). Potwierdzają to wyniki ekspery-

mentalne, albowiem badając skład chemiczny ziaren metalicznych powstających prz. zmiennej ilości chlorku wapnia, stop niklu o najwyższej zawartości żelaza otrzymuje się w temperaturze 1123 K (rys. 1, krzywa 1). Zmiana potencjału termodynamicznego reakcji chlorowania tlenku niklu przyjmuje korzystne wartości w temperaturze 1200 i 1400 K (tabela 4, reakcja 1). Powstawanie metalicznego zarodka musi zostać poprzedzone redukcją lotnych chlorków do postaci wolnej. W warunkach procesu segregacji najbardziej prawdopodobną jest redukcja chlorku niklu i żelaza wodorem (tabela 4, reakcje 7 i 8) oraz tlenkiem węgla. Wodór i tlenek węgla powstają w reakcji gazu wodnego:



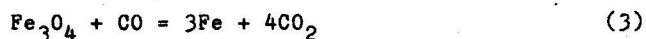
Zmiana potencjału termodynamicznego tej reakcji jest korzystna w warunkach procesu segregacji i w temperaturze 1100 K wynosi $\Delta G_{1100}^{\circ} = -5,089$ kcal/mol, a w temperaturze 1400 K $\Delta G_{1400}^{\circ} = -15,375$ kcal/mol. Tlenek węgla może powstawać również w reakcji syntezy węgla i dwutlenku węgla, pochodzącego z rozkładu magnezytu, towarzyszącego ubogim rudom niklowym.



Zmiana potencjału termodynamicznego tej reakcji w warunkach termicznych procesu segregacji przyjmuje wartości od $\Delta G_{1100}^{\circ} = -5,301$ do $\Delta G_{1400}^{\circ} = -17,737$ kcal/mol.

Redukcje niklu i żelaza tlenkiem węgla są reakcjami uprzywilejowanymi szczególnie w obecności pary wodnej (tabela 4, reakcje 11 i 12). Tlenek węgla jest również skutecznym reduktorem niklu z jego postaci tlenkowej (tabela 4, reakcja 9). W wyniku takiego przebiegu procesu drobne, mikronowe ziarna wydzielają się bezpośrednio na skale płonnej. W literaturze panuje pogląd, że tak wydzielone ziarna nie ulegają aglomeracji i są tracone w procesie odzyskiwania [Takahashi Y. and all., 1970]. Autorka w pracach wcześniejszych podważa ten pogląd, udowadniając, że możliwym jest otrzymywanie dużych ziarn metalicznych w procesie segregacji zarówno na podłożu węglowym jak i na krzemiance [Hudyma I., 1984].

Zwiększona ilość stałego reduktora w próbce sprzyja powstawaniu ziarn metalicznych, zawierających znaczną ilość żelaza (rys. 2, krzywe 1-4). Zjawisko to może być związane z wychlorowywaniem limonitu w 1100 K (tabela 4, reakcja 2), jak i redukcją magnezytu w temperaturach do 800 K:



Zmiana potencjału termodynamicznego reakcji w temperaturach 500 K i 800 K wynosi: $\Delta G_{500}^{\circ} = -2,633$ kcal/mol i $\Delta G_{800}^{\circ} = -0,291$ kcal/mol. Wpływ

koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze redukcyjnej procesu na rodzaj otrzymywanych ziarn metalicznych najlepiej ilustrują wyniki trzeciej serii badań. Począwszy od 620 K rozkład soli zasadowej magnezu powoduje wzrost stężenia dwutlenku węgla, który z węglem tworzy tlenek węgla. Uprzywilejowana zostaje reakcja redukcji magnetytu, która sprzyja powstawaniu stopów niklowych, bogatych w żelazo (rys. 3, krzywe 1-4). Zmniejszanie się stężenia dwutlenku węgla w wyniku całkowitego rozkładu soli zasadowej w temperaturach wyższych, sprzyja redukcji chlorku niklu i otrzymuje się stopy niklu o niższej zawartości żelaza (rys. 3, krzywe 5 i 6).

Utrzymywanie dużego stężenia chlorowodoru w atmosferze reakcyjnej może spowodować ponowne wychlorowanie metalicznego żelaza (tabela 4, reakcja 14), a w przypadku dostępu tlenu, również metalicznego niklu (tabela 4, reakcje 15 i 16).

Reasumując, rodzaj otrzymywanego stopu żelazoniklowego w procesie segregacji zależy od składu chemicznego atmosfery reakcyjnej. Segregacja ubogich krajowych rud niklowych, zawierających magnezyt, sprzyja utrzymaniu atmosfery redukcyjnej, ale uzyskane ziarna metaliczne będą zawierały podwyższoną ilość żelaza.

Literatura

1. Hoover H., Han K.N., Fuerstenou D.W., Segregation roasting of nickel cooper and cobalt from deep-sea manganese nodules, Inst. J. Mineral, Proc. 2, 1975, p. 173-195.
2. Hudyma I., Badania podstawowe nad możliwością wzbogacania ubogich rud niklu metodą segregacji, Raporty, ser. SPR nr 133, Inst. Chem. Nieorg. i Met. Pierw. Rzad. Pol. Wr., 1977, Wrocław.
3. Hudyma I., Laskowski J., Badania podstawowe nad możliwością wzbogacania krzemianowych rud niklu, Raporty, ser. SPR 168, Inst. Chem. Nieorg. i Met. Pierw. Rzad. Pol. Wr. 1978, Wrocław.
4. Hudyma I., Growth of metallic nickel grain on the segregation process, Part I, Trans. I.M.M. 90, 1981, 147-151, Part II, Trans. I.M.M., 93, 1984, p. 86-90.
5. Iwasaki I., Takahashi Y., Kahata H., Extraction of nickel from laterites and oxidized nickel ores by a segregation process, Am. Inst. Min. Engs, 235, 1966, p. 308-320.
6. Moulden J.C., Taplin B., British patent, nr 250991, 1924.
7. Nagano K., Koima K., Takahashi Y., Extraction of nickel from low grade ore by a segregation process, IX-th Inter. Mineral Proc. Congress, Praha, 1970, p. 319-327.
8. Rey M.R.W., Early development in the cooper segregation process, Trans. I.M.M., vol. 76, 1976, 114-132.

9. Takahashi Y., Kodzuma K., Nagano K., Izwleczenie nikiela iz garniery-ta promienieniem procesa segregacji, Ekspr. Inf. Cwiet. Metal., 1970
10. Wright J.K., The segregation process, Min. Sci. Eng. 15, 2, 1973, 119-134.

ABSTRACT

Hudyma I., 1990. A model of the ferronickel formation in the segregation process. Physicochemical Problems of Mineral Processing., 22, 135-144 (polish text)

The chemical composition of the ferronickel grains in the segregation process has been determined for model system. The quantity of the iron in the metallic grains depended on the concentration of the carbon monoxide and elemental carbon. High-purity nickel alloys were found to form at temperatures ranging from 1300 to 1400 K while carbon content was analysed to be in the range of 1.5-2%.

СОДЕРЖАНИЕ: И.Худыма, 1990, Образцовые исследования в процессе сегрегации и восстановления железоникеля, Физико-химические вопросы обогащения, 22, 135-144.

Проведено исследование образования зерн в образцовой системе, восстановленных из хлорида никеля и пьюокси кремния, незначительно загрязненной железом, а также переменной побавкой угл, хлорида кальция и щелочной сольи магния. Определено химическое состояние образующихся зерн.

Итверждается, что никелевые сплавы с повышенным цодержанием железа образуются в низких температурах, при побавлении к пробке выше 2% угля и повышенном количестве окиси углерода в реакционной атмосфере. Бысоко-процентные никелевые цплавы получается в процессе сегрегации в температуре 1300 - 1400 K.