

ӘОЖ 541.1+549.73:538.21

A.A. МҮХТАР, A.C. МАҚАШЕВ, Б.Қ. ҚАСЕНОВ, А.Қ. ҚАЛДЫБАЕВА

## Cu-Ni-Zn ФЕРРИТТЕРІНІҢ МАГНИТТІК ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ҚҰРАМФА ТӘУЕЛДІЛІГІ

$2,0 \leq \text{CuFe}_2\text{O}_4 \leq 20,0$ ;  $20,0 \leq \text{NiFe}_2\text{O}_4 \leq 38,0$ ;  $42,0 \leq \text{ZnFe}_2\text{O}_4 \leq 60,0$  жергілікті симплекс аймағында мыс—никель—мырыш күрделі ферриттерінің меншікті магниттелу қасиетінің құрамға тәуелділігі зерттелді. Осы жергілікті аймақтагы «құрам-қасиет» тәуелділігінің математикалық тендеуі есептелді.

Ферриттер ерекше физикалық және химиялық қасиеттеріне байланысты көптеген салада колданыс тапты және олардың колданылатын аумағы үздіксіз кеңеюде. Қазіргі заманғы радио-, электротехника және электроника өндірісін ферриттерді колданбай дамыту мүмкін емес.

Техникалық және ғылыми мәніне қарамасстан, ферриттік материалдарға байланысты көптеген мәселелер өлі күнге дейін шешімін тапқан жок. Материалдардың магниттік қасиеттерін арттыру, олардың сапасын жақсарту — магниттік материалдарды зерттеуде маңызды әрі өзекті мәселесі болып отыр.

Жұмыстың мақсаты — мыс — никель — мырыш ферриттерінің магниттік қасиеттерінің  $2,0 \leq \text{CuFe}_2\text{O}_4 \leq 20,0$ ;  $20,0 \leq \text{NiFe}_2\text{O}_4 \leq 38,0$ ;  $42,0 \leq \text{ZnFe}_2\text{O}_4 \leq 60,0$  концентрациялық аймағында құрамға тәуелділігін зерттеу.

Зерттелетін концентрациялық жергілікті симплекс аймак кескіні төбелері мыс, никель және мырыш ферриттерінің 100%-дық үлесіне сәйкес болатын тең қабырғалы үшбұрыш — екі өлшемді симплекс ішінде 1-суретте бейнеленген.

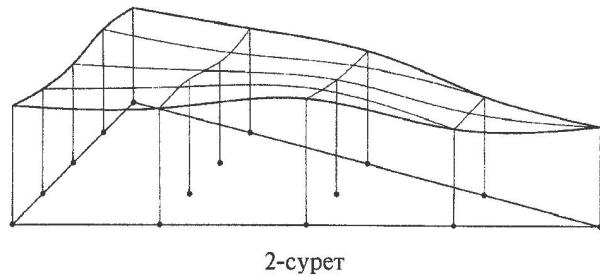
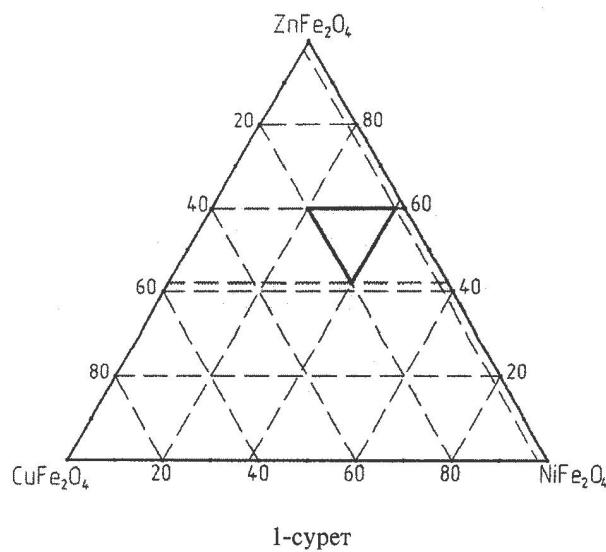
Ферриттер қасиетінің, дәлірек айтқанда, меншікті магниттелуінің алынатын құрамға тәуелділігін зерттеу үшін тәжірибелердің жоспарлаудың симплекс торлы матрица өдісі қолданылды. Біздің жағдайымызда үшкомпонентті коспалар үшін {3,4} симплексторы пайдаланылды [1].

Феррит ұнтақтары керамикалық өдіспен алынды [2, 3]. Түрлі аракатынаста алынған темір (III) тотығы (ТУ 6-09-563-85), мырыш тотығы (ГОСТ 202-76), мыс (II) тотығы (ГОСТ 16539-79) және никель (II) тотығы (ТУ 6-09-4591-78) ұнтақтары шарлы диірменде, сулы ортада араластырылды. Араласқан шихталар кептірілгеннен соң  $800^{\circ}\text{C}$  температурада алдын ала күйдірілді. Алынған феррит ұнтақтары қайта үгітіліп, қалыптарға құйылды. Ферриттердің белгілі қалыптағы үлгілері  $1250^{\circ}\text{C}$  температурада қайта күйдірілді. Феррит үлгілерінің меншікті магниттелуі Гүй өдісімен зерттелді [4]. Тәжірибелердің жоспары мен нәтижелері 1-кестеде көлтірілген.

2-суретте жергілікті симплекс бетінде тәжірибелерде алынған құрамдарға сәйкес келетін нұктелерде тұрғызылған биіктіктері осы нұктеден

1-кесте. Тәжірибелердің жоспары мен нәтижелері

№№	Коспалар құрамы						Құрам индексі	Меншікті магниттелу, Гс см <sup>3</sup> /г		
	Псевдоқұрамдар координатасы, салм.үлес			Нақты құрамдар координатасы, %						
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>				
1	1	0	0	20,0	20,0	60,0	y <sub>1</sub>	80,66		
2	0	1	0	2,0	38,0	60,0	y <sub>2</sub>	84,00		
3	0	0	1	20,0	38,0	42,0	y <sub>3</sub>	100,67		
4	0,5	0,5	0	11,0	29,0	60,0	y <sub>12</sub>	95,73		
5	0,5	0	0,5	20,0	29,0	51,0	y <sub>13</sub>	83,16		
6	0	0,5	0,5	11,0	38,0	51,0	y <sub>23</sub>	107,14		
7	0,75	0,25	0	15,5	24,5	60,0	y <sub>112</sub>	89,46		
8	0,75	0	0,25	20,0	24,5	55,5	y <sub>113</sub>	88,25		
9	0	0,75	0,25	6,5	38,0	55,5	y <sub>223</sub>	81,64		
10	0,25	0,75	0	6,5	33,5	60,0	y <sub>122</sub>	83,74		
11	0,25	0	0,75	20,0	30,5	46,5	y <sub>133</sub>	88,59		
12	0	0,25	0,75	15,5	38,0	46,5	y <sub>233</sub>	98,60		
13	0,5	0,25	0,25	15,5	29,0	55,5	y <sub>113</sub>	85,19		
14	0,25	0,5	0,25	11,0	33,5	55,5	y <sub>123</sub>	96,66		
15	0,25	0,25	0,5	15,5	33,5	51,0	y <sub>123</sub>	96,60		



лердегі меншікті магниттелу мөніне пропорционалды перпендикулярлар негізінде сзылған ферриттер касиеттін кұрамга тәуелділігін геометриялық бейнелейтін қысық сзықты бет көлтірлген.

Алынған тәуелділікті математикалық өрнектеу мақсатында тәмендегі төртінші реттік полиномдық тендеуді қолдандық:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \\ + \beta_{23} x_2 x_3 + \gamma_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \\ + \gamma_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \gamma_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) +$$

$$+ \delta_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2)^2 + \delta_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3)^2 + \\ + \delta_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3)^2 + \beta_{1123} x_1^2 x_2 x_3 + \\ + \beta_{1223} x_1 x_2^2 x_3 + \beta_{1233} x_1 x_2 x_3^2.$$

Тәжірибе нәтижелерін пайдалана отырып, осы өрнектің регрессия коэффициенттері есептелінді:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 80,66; \beta_2 = 84,00; \beta_3 = 100,67; \\ \beta_{12} &= 53,60; \beta_{13} = -30,02; \beta_{23} = 59,22; \\ \gamma_{12} &= 39,41; \gamma_{13} = 51,55; \gamma_{23} = -46,00; \\ \delta_{12} &= -123,30; \delta_{13} = 72,18; \delta_{23} = -284,13; \\ \beta_{1123} &= -1090,6; \beta_{1223} = 618,58; \beta_{1233} = 231,47. \end{aligned} \quad (1)$$

Зерттеліп отырған жергілікті жүйенін «құрам-касиет» тәуелділігінің математикалық өрнегі мына түрде жазылады:

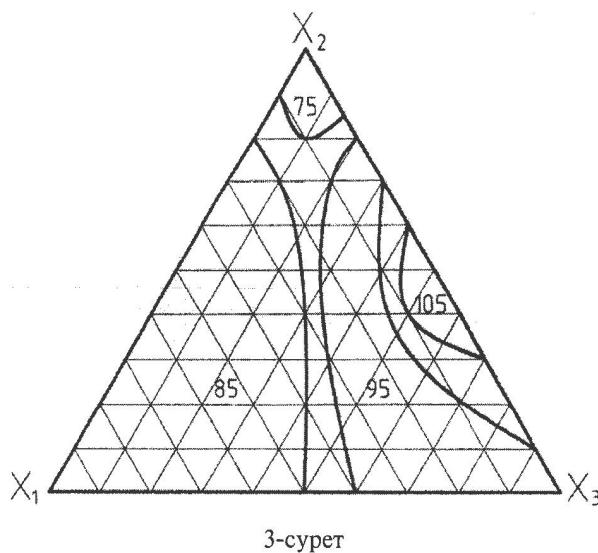
$$\begin{aligned} J &= 80,66x_1 + 84x_2 + 100,67x_3 + 53,6x_1 x_2 + \\ &+ 30,02x_1 x_3 + 59,22x_2 x_3 + 39,41x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \\ &+ 51,55x_1 x_3 (x_1 - x_3) - 46x_2 x_3 (x_2 - x_3) - \\ &- 123,3x_1 x_2 (x_1 - x_2)^2 + 72,18x_1 x_3 (x_1 - x_3)^2 - \\ &- 284,13x_2 x_3 (x_2 - x_3)^2 - 1090,6x_1^2 x_2 x_3 + \\ &+ 618,58x_1 x_2^2 x_3 + 231,47x_1 x_2 x_3^2. \end{aligned}$$

Алынған математикалық өрнекті сәйкестікке тексеру үшін жергілікті симплекстің ішінен өртүрлі құрамды қосымша бақылау тәжірибелері жүргізілді. Меншікті магниттелудің тәжірибелік мәндерінің нәтижелері екі рет өлшеудін ортақ

2-кесте. «Меншікті магниттелу-құрам» тәуелділігінің математикалық өрнегін сәйкестікке тексеру

№№	Бақылау нұктелерінің құрамы						$\bar{J}$	$J_e$	$\Delta J$	$t_m$				
	Псевдокұрамдар координатасы, салм.үлес			Накты құрамдар координатасы, %										
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$CuFe_2O_4$	$NiFe_2O_4$	$ZnFe_2O_4$								
1	0,8	0,1	0,1	14,00	34,00	52,00	86,35	87,07	0,72	0,21				
2	0,2	0,1	0,7	15,00	35,00	50,00	96,60	98,25	1,65	0,47				
3	0,4	0,3	0,3	14,00	33,00	53,00	96,30	97,54	1,24	0,36				
4	0,2	0,7	0,1	13,00	33,00	54,00	84,10	84,53	0,43	0,12				
5	0,1	0,5	0,4	12,00	38,00	50,00	106,65	108,29	1,64	0,47				

$$r=2; S_I^2 = 1,53; S_I = 1,237; \alpha = 0,05; l=5; f=15; t_{0,05/5;15}^{кесть} = 2,947$$



мәндері бойынша алынды. Бақылау нұктелерінің құрамдары мен меншікті магниттелудің мәндері, сонымен қатар, меншікті магниттелудің өрнек бойынша есептелген мәндері 2-кестеде көлтірілді.

2-кестенің мәліметтерінен көріп отырғанымыздай, барлық бақылау нұктелері үшін Стюент критерийінің тәжірибелік мәндері ( $t_m$ )  $\alpha/l = 0,05/5 = 0,01$  деңгейі бойынша анықталған кестелік мәннен ( $t_{0,05/5,15}^{kese} = 2,947$ ) [5] аз. Демек, алынған математикалық модель (1) қарастырылған жергілікті симплекс аймағында сәйкесті деп саналады. Математикалық модель зерттеліп отырған жергілікті симплекс аймағында J шамасының 75,85,95 және 105 мәндеріне сәйкес келетін нұктелерден тұратын тұрақты сызықтарды есептеуге қолданылды. Есептелған J шамасының тұрақты мәндерінің сызықтары псевдокұрамдармен белгіленген концентрациялық үшбұрыш бетінде 3-суретте көлтірілді.

Қорыта келгенде,  $2,0 \leq \text{CuFe}_2\text{O}_4 \leq 20,0$ ;  $20,0 \leq \text{NiFe}_2\text{O}_4 \leq 38,0$ ;  $42,0 \leq \text{ZnFe}_2\text{O}_4 \leq 60,0$  жергілікті симплекс аймағында Cu-Ni-Zn ферриттерінің

меншікті магниттелу қасиетінің құрама төуелділігін тепе-тендікті сипаттайтын математикалық модель алынды. Алынған модель мыс, никель және мырыш жеке ферриттері негізінде қажетті меншікті магниттелу қасиетіне ие болатын күрделі Cu-Ni-Zn ферриттерінің құрамын болжаяуға пайдаланылды.

### ӘДЕБИЕТ

1. Ким В.А., Николай Э.Н., Быков В.И. Исследование свойств металлургических шлаков методом планирования эксперимента. Караганда: ППО «Офсет», 1988. 67 с.
2. Пархоменко В.Д., Сорока П.И., Головков Л.А. Липатов П.В. Получение ферритовых порошков в потоках высокотемпературных теплоносителей. Киев: Наукова думка, 1988. 152 с.
3. Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д., Летюк Л.М. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. М.: Металлургия, 1979. 472 с.
4. Карлин Р. Магнетохимия. М.: Мир, 1989. 400 с.
5. Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1973. 832 с.

### Резюме

В статье рассматривается зависимость удельных магнитных свойств меди-никель-цинк ферритов от состава в области локального симплекса  $2,0 \leq \text{CuFe}_2\text{O}_4 \leq 20,0$ ;  $20,0 \leq \text{NiFe}_2\text{O}_4 \leq 38,0$ ;  $42,0 \leq \text{ZnFe}_2\text{O}_4 \leq 60,0$ . Рассчитано математическое уравнение зависимости «состав-свойство» исследуемой локальной системы.

### Summary

In the article dependence of specific magnetic properties copper-nickel-zinc of ferrite from composition in the field of a local simplex  $2,0 \leq \text{CuFe}_2\text{O}_4 \leq 20,0$ ,  $20,0 \leq \text{NiFe}_2\text{O}_4 \leq 38,0$ ;  $42,0 \leq \text{ZnFe}_2\text{O}_4 \leq 60,0$  is considered. The mathematical equation of dependence «composition-property» of researched local system is calculated.

Ж.А.Әбішев атындағы

Химия-металлургия институты

Караганды қ.

4.12.2009 ж. түсті