

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/GZVJ4547>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,189

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

**Б. С. Келаманов¹, *Д. А. Есенғалиев², О. Р. Сариев³,
Е. Қ. Қуатбай⁴, Т. Т. Жунісқалиев⁵**

^{1,2,3}Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ;

^{4,5}Қарағанды индустриалық университеті, Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

*e-mail: dauralga@mail.ru

NI-Fe-C-O ТӨРТ КОМПОНЕНТТІ ЖҮЙЕСІН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ- ДИАГРАММАЛЫҚ ТАЛДАУ ТҰРҒЫСЫНАН ЗЕРТТЕУ

Осы мақалада никелқұрамдас қорытпанының фазалық ауысуын және кешенді қорытпаның құрамын келтірілді. Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйесі құрылды және никельқұрамдас қорытпаның фазалық құрамын есептеуге арналған математикалық моделінің нәтижелері анықталды. Төрт компонентті Ni - Fe - C - O металдық жүйесі Fe - C - O, Ni - C - O, Ni - Fe - O, Ni - Fe - C жеке төрт металдық үш компоненттен жүйеден тұратыны анықталды және Ni - Fe - C - O төрттік жүйесінің қосылыстарының фазалық тепе-теңдігін талдау кезінде, қарастырып отырған төрт компонентті жүйе 14 тетраэдрдан тұраты және Хиза әдісі бойынша барлық көлемі есептеп шығарылды. Конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қосылыстарды ескеру арқылы қарапайым тетраэдрге бөлу кезінде олардың көлемі ($V = 0,999989$) тең болды. Бұл есептің дұрыс есептелгенін көрсетеді. Никельқұрамдас қорытпаның құрамындағы элементтерді өзгерту арқылы, яғни Ni - 15 - 45 %; Fe 54,0 - 82,5 %; C 1,0 - 2,5 % болған кезде, қорытпаның фазалық құрамы Fe - Fe₃C - Ni₃Fe облысында орналасқаны дәлелденді.

Кілтті сөздер: термодинамикалық-диаграммалық талдау, никельқұрамдас қорытпа, фазалық құрам, көміртегітермиялық үрдіс, үш компонентті жүйе, төрт компонентті жүйе.

Кіріспе

Металлургияның теориясы мен практикасында температура және қысымға байланысты металлургиялық қайта өңдеуге қолданылатын материалдардың күйін зерттеу маңызды. Термодинамикалық-диаграммалық талдау, аты айтып тұрғандай, зерттелетін жүйеде химиялық байланысқа түсетін компоненттердің геометриялық диаграммамен біріктірілген термодинамикалық бағасы. Осындай комбинация химиялық заңдылықтың толық түсінуге мүмкіндігі береді. Сұйық фазада жағдайында термодинамикалық болжамды химиялық әрекеттесудің өтуі өте жоғары. Сондықтан қорытпа ішіндегі пайда болатын белгілі қосылыстарды диаграмма түрінде және химиялық реакциялардың мәндерін тепе-теңдік жағдайда термодинамикалық-диаграммалық кескінін анықтауға болады. Алайда, күрделі жүйелердегі процестерді дәстүрлі термодинамикалық зерттеу күрделі математикалық есептеулерді қолдануды талап етеді және көптеген тәуелсіз

реакциялардың термодинамикалық параметрлерін анықтау қажеттілігімен байланысты. Көбінесе реакциялардың Гиббс энергиясының өзгеруін анықтау үшін қажетті заттардың бірқатар қасиеттері туралы мәліметтер шектеулі немесе мүлдем мәлімет жоқ. Сондықтан да көп компонентті жүйедегі термодинамикалық талдау мүмкіндігі қиынға соғады және процестің аралық кезеңдерінің ерекшеліктерін ескермейді, өйткені ол тек процестің кіріс және шығыс параметрлерімен жұмыс жасайды.

Металлургиядағы процестерді дәстүрлі термодинамикалық зерттеуге балама ретінде термодинамикалық-диаграммалық талдау әдісі болып табылады. Бұл әдіс Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институтында жасалған [1]. Осы әдістің ерекшелігі металлургиялық технологияға қолдану тұрғысынан аса тиімді, өйткені ол металлургиялық өңдеуде қолданылатын шикізат материалдарының фазалық күйінің ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік береді [2]. Сонымен қатар, осы зерттеулердің түпкілікті нәтижесі металлургиялық қорытпалардың құрамына жақын жеке жүйедегі фазалық құрамның диаграммасы болып табылады. Диаграмма көмегімен металл және қож жүйелеріндегі фазалық өзгерістерін анық байқауға және заттардың соңғы күйін болжауға мүмкіндік береді. Көпкомпонентті жүйе үшін термодинамикалық-диаграммалық талдау арқылы қажетті қорытпаның химиялық құрамына байланысты фазалық құрамын анықтау жұмыстарын жеңілдетеді. Сондықтан да қарастырылып отырған Ni-Fe-C-O металдық жүйедегі қажетті фазалық құрамды термодинамикалық-диаграммалық талдау тұрғысынан зерттеу өзекті болып табылады.

Жұмыстың мақсаты – металдық жүйе негізінде никельқұрамдас қорытпаның фазалық ауысу заңдылықтарын анықтау және күрделі қорытпа құрамның облысын есептеу.

Материалдар мен әдістері. Болат балқыту технологиясында қолданылатын никельқұрамдас қорытпа технологиясын жасау үшін, төрт компонентті Ni-Fe-C-O жүйесінің термодинамикалық қасиетін білу міндетті болып табылады.

Төрт компонентті Ni-Fe-C-O металдық жүйесінің диаграммасын құру үшін, осы жүйедегі түзілетін қосылыстардың Гиббс (ΔG_{298}) энергия мәнін анықтау қажет. Қосылыстардың ΔG_{298} мәнін термодинамикалық сөздіктер көмегімен анықталды [3,4]. Алайда кейбір қосылыстар үшін ΔG_{298} мәндері жоқ, сондықтан да стандартты жағдайда қандайда бір аралық қосылыстардың Гиббс энергиясының мәнін Гиббс-Гельмгольц теңдеуімен есептейді [5].

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0 \quad (1)$$

Төрт компонентті Ni-Fe-C-O металдық жүйе үшін термодинамикалық параметрлер есебі нәтижелері кесте 1 келтірілген.

Кесте 1 – Термодинамикалық параметрлер есебінің нәтижесі

№	Қосылыс	ΔG_{298}	ΔS_{298}	ΔH_{298}
		кДж/моль	Дж/моль	Дж/моль
1	NiO	-211,597	37,99072	-239,7432
2	Ni ₂ O ₃	-509,132	157,93	-485,344
3	Ni ₃ Fe	-67,917	168,84	-15,56448
4	Ni ₃ C	25,104	106,2736	75,312
5	NiCO ₃	-617,926	86,1904	-694,544
6	FeO	-224,299	60,75168	-264,8472
7	Fe ₂ O ₃	-740,338	87,4456	-822,156
8	Fe ₃ O ₄	-1014,164	146,18896	-1117,128
9	Fe ₃ C	18,794	108,3656	25,104
10	FeCO ₃	-665,089	95,3952	-738,149648
11	CO	-137,143	197,543376	-110,524544
12	CO ₂	-394,380	213,67688	-393,513568

1 - ші кестеде нәтижесінен көріп тұрғанымыздай, Ni-Fe-C-O металдық жүйенің 12 аралық қарапайым қосылыстар түзіледі. Төрт компонентті Ni-Fe-C-O металдық жүйесі Fe-C-O, Ni-C-O, Ni-Fe-O, Ni-Fe-C жеке төрт металдық жүйеден тұрады. Үш компонентті ішкі жүйелердің төрт құрамдас бөлігінің субсолидтік құрылымынан шығатын шекаралық үштік жүйелер бойынша ұсынылған мәліметтер Ni-Fe-C-O жүйесінің тетраэдрінің шоғырлану кеңістігін элементарлы квазисистемаларға дұрыс бөлу үшін жеткілікті.

Ni-Fe-C-O жүйесінде кристалдану облыстарын анықтау үшін, конгруэнтты қосылыстардың координаттары 2-ші кестеде келтірілген. Жүйеде 16 конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қарапайым және күрделі қосылыстар түзіледі. Жоғарыда келтірілген үштік жүйелер нәтижелеріне сүйене отырып, Ni-Fe-C-O тетраэдрды анықтау үшін, көршілес орналған үшбұрыштарды жазу арқылы орнату оңайырақ. Әрі қарай сәйкес үшбұрышты қорытындылау арқылы зерттелетін төрттік жүйенің нәтижесінде тетраэдр шығарылады. Содан соң осы төртбұрыштың құрамдас бөліктерінің бірін шегерту арқылы, іргелес келесі төртбұрышты табу үшін жалпы жүйенің ішкі жүйесінің үшбұрышына дейін азайтуға болады.

Кесте 2 – Ni-Fe-C-O жүйесіндегі конгруэнтті және инконгруэнтті металдық қосылыстар және олардың координаттары

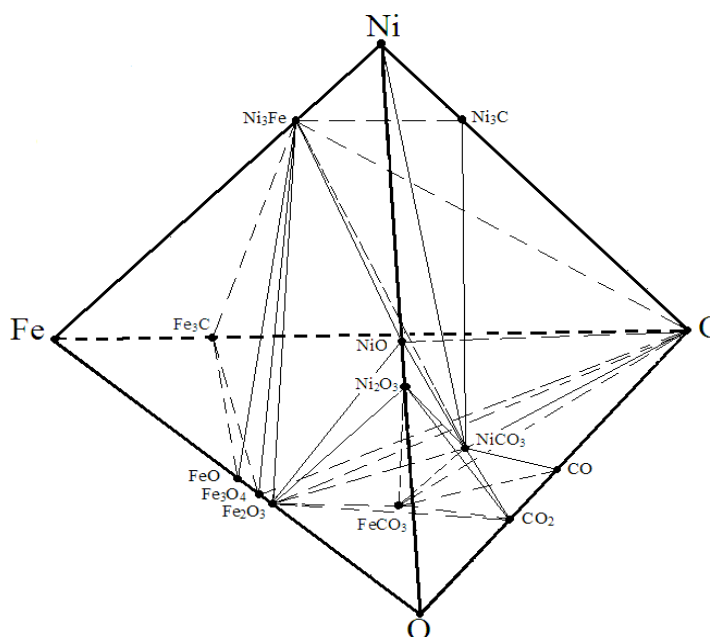
№р/р	Қосылыстар	Массалық құрам негізіндегі координаттар			
		Ni	Fe	C	O
1	Ni	1000	0	0	0
2	Fe	0	1000	0	0
3	C	0	0	1000	0
4	O	0	0	0	1000
5	NiO	786	0	0	214
6	FeO	0	778	0	222
7	Ni ₂ O ₃	710	0	0	290
8	Fe ₂ O ₃	0	700	0	300
9	Fe ₃ O ₄	0	724	0	276
10	Ni ₃ Fe	759	241	0	0

11	Ni ₃ C	936	0	64	0
12	Fe ₃ C	0	933	67	0
13	CO	0	0	428	572
14	CO ₂	0	0	273	727
15	NiCO ₃	495	0	101	404
16	FeCO ₃	0	483	103	414

1 – суретте Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйедегі конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қосылыстардың тетраэдрация нәтижесі келтірілген.

Жоғарыда келтірілген үштік жүйелер нәтижелеріне сүйене отырып, Ni-Fe-C-O тетраэдрды анықтау үшін, көршілес орналған үшбұрыштарды жазу арқылы орнату оңайырақ. Әрі қарай сәйкес үшбұрышты қорытындылау арқылы зерттелетін төрттік жүйенің нәтижесінде тетраэдр шығарылады. Содан соң осы төртбұрыштың құрамдас бөліктерінің бірін шегерту арқылы, іргелес келесі төртбұрышты табу үшін жалпы жүйенің ішкі жүйесінің үшбұрышына дейін азайтуға болады. 1 - суретте Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйедегі конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қосылыстардың тетраэдрация нәтижесі келтірілген.

Суреттен көріп тұрғанымыздай, диаграмманы құру кезінде никель және темірдің карбидтері мен карбонаттары ескерілді. Осы диаграмманы және оның фазалық құрылымын қабылдауды жеңілдету үшін оны құрамдас бөліктерге бөлдік. Трансформация коэффициенттері бастапқы компоненттер бойынша (химиялық құрамы бойынша) фазалық құрамды анықтауға арналған Хиза әдісімен есептелінді [6].



Сурет 1 – Ni-Fe-C-O жүйесінің жалпы көрінісі

Никельқұрамдас қорытпалардың фазалық құрамын анықтау үшін Ni-Fe-C-O төрттік жүйесінің қосылыстарының фазалық тепе-теңдігін талдау кезінде, қарастырып отырған төрт компонентті жүйе 14 тетраэдрдан тұрады және олардың қарапайым көлемдері (тетраэдр көлемдерінің жалпы суммасы 1-ге тең) 3 -ші кестеде келтірілген.

Кесте 3 – Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйедегі қарапайым тетраэдр тізімі және олардың сәйкес көлемдері

№ р/р	Тетраэдрлар	Қарапайым көлемдер
1	2	3
1.	$Fe_2O_3-Ni_2O_3-O-CO_2$	0,135682
2.	$Fe_2O_3-Ni_2O_3-FeCO_3-CO_2$	0,009130
3.	$NiCO_3-FeCO_3-CO-CO_2$	0,037058
4.	$NiCO_3-FeCO_3-C-CO$	0,136757
5.	$Fe_3O_4-Fe_2O_3-C-Ni_3Fe$	0,018216
6.	$Fe_3O_4-Fe_3C-C-Ni_3Fe$	0,195449
7.	$Fe_3O_4-Fe_3C-FeO-Ni_3Fe$	0,002746
8.	$Fe-Fe_3C-FeO-Ni_3Fe$	0,011289
9.	$NiCO_3-C-Ni_3C-Ni_3Fe$	0,091133
10.	$NiCO_3-Ni-Ni_3C-Ni_3Fe$	0,006231
1	2	3
11.	$NiCO_3-Ni-NiO-Ni_3Fe$	0,005209
12.	$NiCO_3-Ni_2O_3-NiO-Fe_2O_3$	0,005373
13.	$Ni_3Fe-Fe_2O_3-C-NiO$	0,170526
14.	$NiCO_3-Ni_3Fe-C-Fe_2O_3$	0,175190
Сумма		0,999989

1 – суретте және 3 – кестедн нәтижелеріне көріп тұрғанымыздай, Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйені конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын қосылыстарды ескеру арқылы қарапайым тетраэдрге бөлу кезінде олардың көлемі 0,999989 тең болғанын көруге болады. Бұл тетраэдрацияның дұрыстығын растайды.

Қорытпа құрамының квазижүйелердің бірінде орналасу критериясын Хиза теңдеуі бойынша есептелген белгілі бір политоптың екінші компоненттерінің n-ші санының бар барлық коэффициенттерінің оң мәндері болып табылады [7–10]. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, кесте 4-те Хиза әдісі бойынша есептеген базалық тетраэдрдің 14 конгруэнтті және инконгруэнтті балқитын квази-жүйелерінің әрбір екінші компоненті үшін коэффициенттері келтірілген.

Кесте 4 – Қарапайым тетраэдрлардың тізімі, олардың көлемі және Ni-Fe-C-O жүйесіндегі екінші компоненттер тепе-теңдігін есептеуге арналған коэффициенттер

бастапқы компоненттер	коэффициенттер	Тетраэдрлар, олардың көлемі және трансформациялау коэффициенттері						
		1	2	3	4	5	6	7
		Fe ₂ O ₃ - Ni ₂ O ₃ - O- CO ₂	Fe ₂ O ₃ - Ni ₂ O ₃ - FeCO ₃ - CO ₂	NiCO ₃ - FeCO ₃ - CO- CO ₂	NiCO ₃ - FeCO ₃ - C- CO	Fe ₃ O ₄ - Fe ₂ O ₃ - C- Ni ₃ Fe	Fe ₃ O ₄ - Fe ₃ C- C- Ni ₃ Fe	Fe ₃ O ₄ - Fe ₃ C- C- Ni ₃ Fe
көлемдер		0,13568	0,009130	0,037058	0,136757	0,018216	0,19545	0,00275
Ni	a ₁	0	10,25422	0	0	-3,96904	0	1,30537
	a ₂	1,40845	0	0	0	3,65151	-0,34032	0
	a ₃	-0,40845	-14,8612	-1,76129	-0,74825	0	0,02280	-1,62290
	a ₄	0	5,60697	2,76129	1,74825	1,31752	1,31752	1,31752
Fe	b ₁	1,42857	-2,96609	0	0	12,5000	0	-4,11111
	b ₂	0	0	2,07039	2,07039	-11,5000	1,07181	0
	b ₃	-0,42857	6,36908	0,50946	0,42811	0	-0,07181	5,11111
	b ₄	0	-2,40299	-1,57986	-1,49850	0	0	0
C	c ₁	0	-27,3070	0	0	0	0	57,2488
	c ₂	0	0	0	0	0	0	14,9254
	c ₃	-2,66300	39,57539	4,69032	1	1	1	-71,1741
	c ₄	3,66300	-11,2684	-3,69032	0	0	0	0
O	d ₁	0	-4,18834	2,02020	2,02020	-29,1666	3,62319	14,4074
	d ₂	0	1,40845	0	0	30,1666	-2,81156	0
	d ₃	1	6,07006	0,48048	0,40665	0	0,18837	-13,4074
	d ₄	0	-2,29017	-1,50068	-1,42686	0	0	0

бастапқы компоненттер	коэффициенттер	Тетраэдрлар, олардың көлемі және трансформациялау коэффициенттері						
		8	9	10	11	12	13	14
		Fe- Fe ₃ C- FeO- Ni ₃ Fe	NiCO ₃ - C- Ni ₃ C- Ni ₃ Fe	NiCO ₃ - Ni- Ni ₃ C- Ni ₃ Fe	NiCO ₃ - Ni- NiO- Ni ₃ Fe	NiCO ₃ - Ni ₂ O ₃ - NiO- Fe ₂ O ₃	Ni ₃ Fe- Fe ₂ O ₃ - C- NiO	NiCO ₃ - Ni ₃ Fe- C- Fe ₂ O ₃
көлемдер		0,011289	0,09113	0,006231	0,005209	0,005373	0,170526	0,175190
Ni	a ₁	-0,31752	0	0	0	0	0,87846	0,28870
	a ₂	0	-0,06838	1	1	-2,81579	-0,30244	1,12924
	a ₃	0	1,06838	0	0	3,81579	0	-0,02916
	a ₄	1,31752	0	0	0	0	0,42398	-0,38878
Fe	b ₁	1	0	0	0	0	1,38278	-0,90922
	b ₂	0	0,21534	-3,14938	-3,14938	-4,43233	0,95250	0,59297
	b ₃	0	-3,36472	0	0	4,00376	0	0,09183
	b ₄	0	4,14938	4,14938	4,14938	1,42857	-1,33528	1,22442
C	c ₁	-13,9254	0	0	9,90099	9,90099	0	0
	c ₂	14,9254	1	-14,6250	9,79060	-27,56827	0	0
	c ₃	0	0	15,6250	-18,69159	18,66728	1	1
	c ₄	0	0	0	0	0	0	0
O	d ₁	-3,50450	2,47525	2,47525	0	0	-3,22649	2,12152
	d ₂	0	-0,16622	2,43100	-3,67290	10,34210	1,11083	-1,38360
	d ₃	4,50450	-1,30903	-3,90625	4,67290	-9,34210	0	-0,21427
	d ₄	0	0	0	0	0	3,11565	0,47635

Нәтижелер және талқылау. Никельқұрамдас қорытпаның фазалық құрамын анықтау үшін термодинамикалық-диаграммалық талдау нәтижесінің қолдану арқылы, яғни 4-ші кестеде келтірілген әр жеке тетраэдрдің коэффициенттеріне сәйкес никельқұрамды қорытпаның химиялық құрамын (100%-ға тең етіп бөліну қажет) қойып есептейді. Нәтижесінде есептеу барысында нормативті-фазалық құрамы оң мәнге ие болса, қорытпа құрамы сол жеке тетраэдрде орналасады.

5 - ші кестеде әр түрлі химиялық құрамға ие никельқұрамдас қорытпаның химиялық құрамы және фазалық құрамы келтірілген.

Кесте 5 – Никельқұрамдас қорытпаның химиялық және фазалық құрамы

Материал	Химиялық құрамы, %			Фазалық құрамы, %		
	Ni	Fe	C	Fe	Fe ₃ C	Ni ₃ Fe
Қорытпа-1	15,0	82,5	2,5	42,923	37,314	19,763
Қорытпа-2	25,0	78	2	37,212	29,850	32,938
Қорытпа-3	35,0	63,5	1,5	31,499	22,388	46,113
Қорытпа-4	45,0	54,0	1,0	25,787	14,925	59,288

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, никельқұрамдас қорытпаның фазалық құрамы Fe-Fe₃C-Ni₃Fe қосылыстардан тұратын облыста орналасқан.

Қорытынды

Никельқұрамдас қорытпа құрамын модельдеуге арналған Ni-Fe-C-O төрттік компонентінің жүйесі жасалды. Термодинамикалық-диаграммалық талдау әдісінің есептеу шарттары келтірілді.

Термодинамикалық-диаграммалық талдау нәтижесі бойынша Ni-Fe-C-O төрт компонентті жүйе 14 тетраэдрдан тұрады. Ni-Fe-C-O жүйесіндегі бөлінген қарапайым тетраэдрлардың көлемі (V= 0,999989) тең болды.

Ni-Fe-C-O жүйесінің квазикөлемдері арқылы никельқұрамдас қорытпаның фазалық құрамдары анықталды. Нәтижесінде никельдің әр түрлі химиялық құрамы кезінде фазалық құрамы Ni₃Fe-Fe-Fe₃C облысында орналасқан.

Қаржыландыру

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын зерттеу шеңберінде орындалды. (грант № AP19679501).

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Габдуллин, Т. Г., Такенов, Т. Д., Байсанов, С. О., Букетов, Е. А. Физико-химические свойства марганцевых шлаков. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 232 с.
 2 Kelamanov, B., Samuratov, Ye., Akuov, A., Sariev, O., Tastanova, L., Abdirashit, A. Thermodynamic-diagram analysis of Fe-Ni-C-O system // Metalurgija. – 2022. № 61(1), P. 261–264.
 3 Глушко, В. П. Термимические константы веществ. – М. : Академия Наук СССР. Выпуск I, 1965. – 131 с.

4 **Глушко, В. П.** Термические константы веществ. – М. : Академия Наук СССР. Выпуск IV, Часть 2, 1971. – 391 с.

5 **Морачевский, А. С., Сладков, И. В.** Термодинамические расчеты в металлургии // Справочник М. :Металлургия. 1985. – 137 с.

6 **Heath, D. L.** Mathematical Treatment of Multicomponent Systems // Journal Amer. Ceram. Soc. – 1957. Vol. 40, № 2, P. 50–53.

7 **Yessengaliyev, D., Baisanov, S., Issagulov, A., Baisanov, A., Zayakin, O., Abdirashit, A.** Thermodynamic diagram analysis (TDA) of MnO-CaO-Al₂O₃-SiO₂ and phase composition of slag in refined ferromanganese production // Metalurgija. – 2019. № 58 (3–4), P. 291–294.

8 **Makhambetov, Y., Timirbayeva, N., Baisanov, S. Baisanov, A., Shabanov, E.** Thermodynamic modeling of phase composition for Fe-Ca-Si-Al system // Metalurgija. – 2021. № 60 (1–2), P. 117–120.

9 **Makhambetov, Y. E., Abdirashit, A., Kuvatbay, Y. E., Mukhambetkaliyev, A., Abishkenov M. M.** Thermodynamic diagrammatic analysis (TDA) of the system Al-Si-Mn-Fe // Metalurgija. – 2022. № 61 (3–4), P. 807–809.

10 **Tolokonnikova, V., Baisanov, S., Narikbayeva, G., Korsukova, I., Mukhambetkaliyev, Y.** Modeling method of phase equilibrium in metal-slag system // Metalurgija. – 2021. № 60 (3–4), P. 292–294.

REFERENCES

1 **Gabdullin, T. G., Takenov, T. D., Bajsanov, S. O., Buketov, E. A.** Fiziko-himicheskie svoystva margancevyh shlakov [Physico-chemical properties of manganese slags] [Text]. – Alma-Ata, 1984. – 232 p.

2 **Kelamanov, B., Samuratov, Ye., Akuov, A., Sariev, O., Tastanova, L., Abdirashit, A.** Thermodynamic-diagram analysis of Fe-Ni-C-O system // Metalurgija. – 2022. № 61(1), P. 261–264.

3 **Glushko, V. P.** Termimicheskie konstanty veshchestv [Thermal constants of substances] [Text]. – Moscow : Akademiya Nauk SSSR. Vypusk I, 1965. – 131 p.

4 **Glushko, V. P.** Termimicheskie konstanty veshchestv [Thermal constants of substances] [Text]. – Moscow : Akademiya Nauk SSSR. Vypusk IV, Chast 2, 1971. – 391 p.

5 **Morachevskij, A. S., Sladkov, I. V.** Termodinamicheskie raschety v metallurgii [Thermodynamic calculations in metallurgy] [Text] Moscow: Metallurgiya. 1985. – 137 p.

6 **Heath, D. L.** Mathematical Treatment of Multicomponent Systems // Journal Amer. Ceram. Soc. – 1957. Vol. 40, № 2, P. 50–53.

7 **Yessengaliyev, D., Baisanov, S., Issagulov, A., Baisanov, A., Zayakin, O., Abdirashit, A.** Thermodynamic diagram analysis (TDA) of MnO-CaO-Al₂O₃-SiO₂ and phase composition of slag in refined ferromanganese production // Metalurgija. – 2019. № 58 (3–4), P. 291–294.

8 **Makhambetov, Y., Timirbayeva, N., Baisanov, S. Baisanov,, A., Shabanov, E.** Thermodynamic modeling of phase composition for fe-ca-si-Al system // Metalurgija. – 2021. № 60 (1–2), P. 117–120.

9 **Makhambetov, Y. E., Abdirashit, A., Kuatbay, Y. E., Mukhambetkaliyev, A., Abishkenov M. M.** Thermodynamic diagrammatic analysis (TDA) of the system Al-Si-Mn-Fe // Metalurgija. – 2022. № 61 (3–4), P. 807–809.

10 **Tolokonnikova, V., Baisanov, S., Narikbayeva, G., Korsukova, I., Mukhambetkaliyev, Y.** Modeling method of phase equilibrium in metal-slag system// Metalurgija. – 2021. № 60 (3–4), P. 292–294.

Б. С. Келаманов¹, *Д. А. Есенгалиев², О. Р. Сариев³,

Қ. Қуатбай⁴, Т. Т. Жунісқалиев⁵

^{1,2,3}Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Республика Казахстан, г. Актобе;

^{4,5}Карагандинский индустриальный университет,
Республика Казахстан, г. Темиртау.

Материал поступил в редакцию 16.07.23.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ NI-FE-C-O С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ-ДИАГРАММНОГО АНАЛИЗА

В данной статье приведены фазовые переходы никельсодержащего сплава и состав комплексного сплава. Создана четырехкомпонентная система Ni-Fe-C-O и определены результаты математической модели расчета фазового состава никельсодержащего сплава. Было обнаружено, что четырехкомпонентная металлическая система Ni - Fe - C - O состоит из четырех отдельных металлических трехкомпонентных систем Fe - C - O, Ni - C - O, Ni - Fe - O, Ni - Fe - C, и при анализе фазового равновесия соединений четвертичной системы Ni - Fe - C - O, рассматриваемая четырехкомпонентная система состоит из 14 тетраэдров и рассчитана по методу Хизы весь объем. Разбивка общей системы осуществлена с учетом конгруэнтных и инконгруэнтных соединений. Сумма относительных объемов элементарных тетраэдров равна ($V=0,999989$), что подтверждает верность проведенной тетраэдрации. Было доказано, что при изменении элементов в составе никельсодержащего сплава, т. е. Ni - 15-45 %; Fe 54,0 - 82,5 %; C 1,0 - 2,5 %, фазовый состав сплава находится в области Fe - Fe₃C - Ni₃Fe.

Ключевые слова: термодинамически-диаграммный анализ, никельсодержащий сплав, фазовый состав, карботермический процесс, трехкомпонентная система, четырехкомпонентная система.

**B. S. Kelamanov¹, *D. A. Yessengaliyev², O. R. Sariev³,
Ye. K. Kuatbai⁴, T. T. Zhuniskaliyev⁵**

^{1,2,3}K. Zhubanov Aktobe regional university, Republic of Kazakhstan, Aktobe;

^{4,5}Karaganda industrial university, Republic of Kazakhstan, Temirtau.

Material received on 16.07.23

STUDY OF THE FOUR-COMPONENT NI-FE-C-O SYSTEM FROM THE POINT OF VIEW OF THERMODYNAMIC-DIAGRAM ANALYSIS

This article presents the phase transitions of a nickel-containing alloy and the composition of a complex alloy. A four-component Ni-Fe-C-O system was created and the results of a mathematical model for calculating the phase composition of a nickel-containing alloy were determined. It was found that the four-component metal system Ni - Fe - C - O consists of four separate metal three-component systems Fe - C - O, Ni - C - O, Ni - Fe - O, Ni - Fe - C, and when analyzing the phase equilibrium of compounds of the quaternary system Ni - Fe - C - O, the considered four - component system consists of 14 tetrahedra and is calculated by the Hiza method of the entire volume . The breakdown of the general system is carried out taking into account congruent and incongruent compounds. The sum of the relative volumes of elementary tetrahedra is equal to ($V=0.999989$), which confirms the correctness of the tetrahedron. It was proved that when the elements in the composition of a nickel-containing alloy change, i.e. Ni - 15-45%; Fe 54.0 - 82.5%; C 1.0 - 2.5%, the phase composition of the alloy is in the Fe - Fe₃C - Ni₃Fe region.

Keywords: thermodynamic-diagram analysis, nickel-containing alloy, phase composition, carbothermic process, three-component system, four-component system.

Теруге 08.09.23 ж. жіберілді. Басуға 29.09.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,61 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4133

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz