

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/JBVN5702>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/NBXM5649>

***А. Г. Бурумбаев, Б. С. Келаманов,
А. М. Әбдірашит, О. Р. Сариев**

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

FE-W-SI ЖӘНЕ FE-W-C ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҮРДІСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

«Triangle» бағдарламасын қолдана отырып термодинамикалық модельдеу жүргізу, фазалық құрам бойынша үштік жүйелердің диаграммасын құру «Terra» бағдарламасының деректер базасын пайдалана отырып жүргізілді. Алынған есептеулер нәтижелері бойынша зерттеліп отырған металдық жүйенің толық фазалық құрамын сипаттайтын құрушы байланыстар анықталды.

Мақалада Fe-W-Si және Fe-W-C үштік жүйеге арналған «Triangle» кешенді бағдарламасын қолдану арқылы термодинамикалық есептеулерді жүргізу және зерттеу сұрақтары қарастырылған. Алынған нәтижелер бойынша темір-вольфрам қорытпаларында пайда болатын негізгі фазалар және олардың температураға байланысты өзгерістері зерттелді. Сонымен қатар, балқытудың нақты материалдық тепе-теңдігін жасау және қорытпаның құрамын термодинамикалық реттеу мүмкіндігі қарастырылды.

Кілтті сөздер: термодинамика, фаза, жүйе, температура, диаграмма, қосылыстар.

Кіріспе

Көп компонентті жүйелерді кешенді теориялық зерттеу практикасында көп компонентті жүйелердегі фазалық айналымдардың ерекшеліктерін негізгі жүйе өлшемі бойынша термодинамикалық төзімді қарапайым ішкі жүйелерге бөлу арқылы зерттеуді әлдеқайда жеңілдететін термодинамикалық-диаграммалық талдау әдісі белгілі.

Термодинамикалық-диаграммалық талдау зерттелетін жүйедегі компоненттердің химиялық өзара әрекеттесуінің термодинамикалық бағалауын геометриялық диаграммамен ұштастырады. Сондай-ақ, отқа төзімді материалдар

және феррокорытпалар өндірісінің физика-химиялық негіздерін зерттейді [1]. Көп компонентті жүйелерді зерттеу әдісі нақты технология үшін ақырғы фазалық облыстарды анықтауға мүмкіндік береді. Әрбір анықталған кваздыжүйе қатты ерітінділердің түзілу заңдылықтарына және қасиеттерінің өзгеруіне байланысты бұл ретте термодинамикалық басқа фазалардың пайда болуына жол бермейді.

Қарапайым және нақты әдіс арқылы тотықтық жүйелердің фазалық құрамын есептеу теңдігін профессор Акбердин А. А. ұсынды. Яғни, ол пайда болған фазалардың бастапқы тотықтарын бөлу теңгеріміне негізделеді [2, 3]. Темір, оттегі және көміртегі негізіндегі жүйелердің толық термодинамикалық талдауын орындаған В. П. Малышев пен Р. Ж. Симбинов болып табылады [4]. Бұл үшбұрыштардағы жекелеген бөлімшелердің тепе-теңдік құрамы мен тиісті реакциялардың стехиометриялық стандартты жазбасының арасында туындайтын қайшылықтарды шешуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер

Есептеулердің көмегімен пайда болған фазалардың ақырғы фазалық облыстардан тұратын элементтердің бөлінуін анықтауға болады. Мұндай мәліметтерді екі жолмен: яғни тәжірибелік әдістер арқылы немесе термодинамикалық модельдеудің көмегімен қарастыруға болады. Соның біріншісі тәжірибелі әдіс өте көп еңбекті қажет етеді және оларды жүргізу мен интерпретациялау үшін үлкен уақыт шығындарын талап етеді (әсіресе көп компонентті жүйелер үшін). Ал термодинамикалық модельдеу әдістері тәжірибенің есептеу нәтижелерін анықтау кезінде тиімді болып табылады.

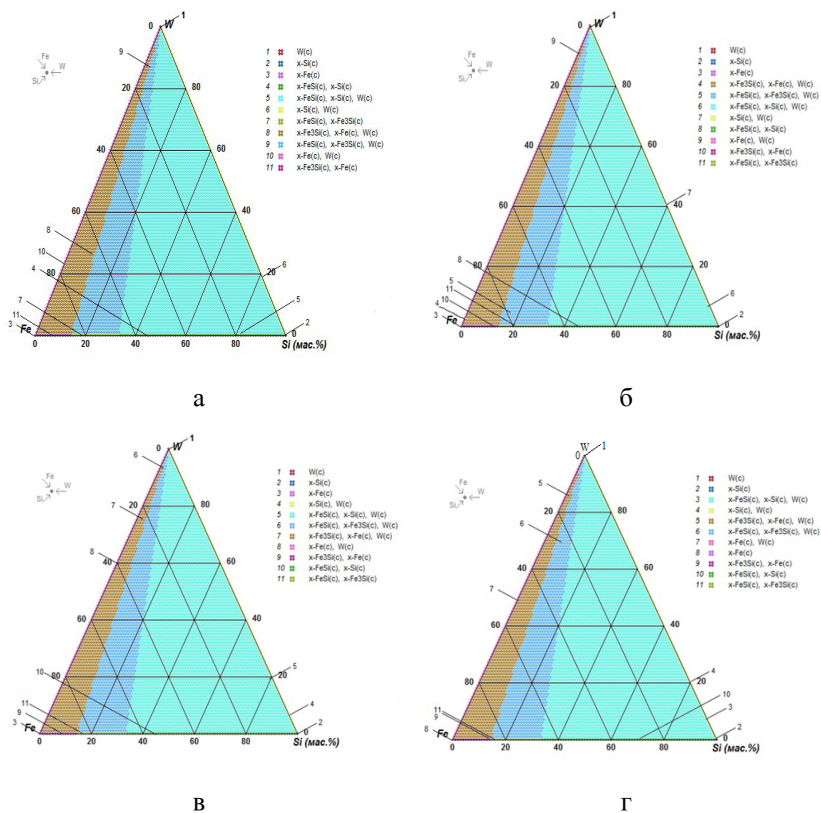
Сондықтан аталған жұмыс аясында «Тетга» кешенді бағдарламасының көмегімен Fe-W-Si-C төрткомпонентті жүйені құрайтын, әрбір жеке жүйелерге термодинамикалық талдау жүргізілді. «Тетга» кешенді бағдарламасында «Triangle» интерфейсі қарастырылған, оның көмегімен бір циклде конденсацияланған барлық фазардың кешенін құруға болады.

Нәтижелер және талқылаулар

Fe-W-Si-C негізіндегі металдық жүйенің фазалық құрамын анықтау үшін графикалық әдіс қолданылды. Есептеу барысында көп компонентті жүйенің тетраэдрациясы тұрғызылды және осы тетраэдрде координат торларын қолдану арқылы құраушы фазалар анықталды.

«Triangle» кешенді бағдарламасы үш фазалы диаграммаларды құру үрдісін жеңілдетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, тепе-теңдік фазалық құрамын есептеу үшін екі режимде жүргізуге болады. Яғни, біріншіден изотермиялық жағдай үшін, жүйенің тепе-теңдігі температурасы (Т, К) және қысым (р, МПа) мәндерімен орнатылған кезде. Ал екіншіден есептеудің әр нүктесінде қысым (р, МПа) және энтальпия (бастапқы материалдардың қалыптасу энтальпиясы) (I, кДж/кг) мәндерімен көрсетілген адиабатикалық тепе-теңдік өзгерісі (жану) жағдайлары үшін.

«Triangle» бағдарламасын қолдана отырып, Fe-W-Si негізіндегі металдық жүйенің негізгі құраушылары болатын Fe-W-Si және Fe-W-C үштік жүйелерін зерттеу жұмысы жүргізілді. Аталған үштік жүйелерді 2173, 2373, 2573 және 2773К температуралар интервалында термодинамикалық өзгерістерге ұшырау мүмкіндіктері толық зерттеліп, жүйелердің диаграммалары тұрғызылды. Диаграмманы құру осы режимдегі температуралардың шамасына байланысты болып табылады. Нәтижелер 1-ші суретте көрсетілген.



В Г
Сурет 1 – Әртүрлі температурадағы Fe-W-Si үштік жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы: 2173К (а), 2373К (б), 2573К (в), 2773К (г)

«Triangle» кешенді бағдарламасын қолдана отырып 2173К температурада пайда болатын қосылыстардан тұратын үштік жүйенің фазалық диаграммасы

тұрғызылды. Нәтижесінде, Fe-W-Si үштік жүйесі: 1) $W_{(c)}$; 2) $Si_{(c)}$; 3) $Fe_{(c)}$; 4) $FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$; 5) $FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 6) $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 7) $FeSi_{(c)}$; $Fe_3Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 8) $Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$; 9) $Si_{(c)}$; 10) $Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$; 11) $Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$ құраушы 11 фазадан тұратындығы анықталды. 2173K температурада Fe-W-Si үштік жүйесі 60 % $FeSi_{(c)}$, $Si_{(c)}$, $W_{(c)}$, 20 % $FeSi_{(c)}$, $Fe_3Si_{(c)}$, $W_{(c)}$, 12 % $Fe_3Si_{(c)}$, $Fe_{(c)}$, $W_{(c)}$ қосылысынан құралғаны анықталды, аз мөлшердегі қалған қосылыстар жиынтығы Fe-W-Si жүйесінің 8 % мөлшерін құрады (сурет 1 (а)). Зерттелетін температура 2373K-ге жоғарылаған кезде орын алатын фазалық өзгерістер келесі үштік жүйенің диаграммасында қарастырылады (сурет 1 (б)). Зерттеу жұмыстарының нәтижесінде қарастырылған жүйе: 1) $W_{(c)}$; 2) $Si_{(c)}$; 3) $Fe_{(c)}$; 4) $Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$; 5) $FeSi_{(c)}$; $Fe_3Si_{(c)}$; $WC_{(c)}$; 6) $Fe_{(c)}$; $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 7) $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 8) $FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$; 9) $Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$; 10) $Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$; 11) $FeSi_{(c)}$; $Fe_3Si_{(c)}$ сияқты 11 фазадан тұратындығы дәлелденді. Жүйенің негізгі құраушы фазалары 2373K температурада Fe-W-Si үштік жүйесінің 60%-н $FeSi_{(c)}$, $Si_{(c)}$, $W_{(c)}$, 20 %-н $FeSi_{(c)}$, $Fe_3Si_{(c)}$, $WC_{(c)}$, 12 %-н $Fe_3Si_{(c)}$, $Fe_{(c)}$, $W_{(c)}$ қосылысы құрайды, қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-W-Si жүйесінің 8% мөлшерімен шектеледі.

Термодинамикалық жүйені талдау нәтижесінде температураны әрі қарай 2573K-ге жоғарлату келесі зерттеу нәтижелерін анықтады: Fe-W-Si үштік жүйесінің 2573K температурада: 60% $FeSi_{(c)}$, $Si_{(c)}$, $W_{(c)}$, 20% $FeSi_{(c)}$, $Fe_3Si_{(c)}$, $W_{(c)}$, 12% $Fe_3Si_{(c)}$, $Fe_{(c)}$, $W_{(c)}$ қосылысынан тұратыны дәлелденді, қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-W-Si жүйесінің 8% мөлшерін құрады. Жүйені құрайтын негізгі фазалар: 1) $W_{(c)}$; 2) $Si_{(c)}$; 3) $Fe_{(c)}$; 4) $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 5) $FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 6) $FeSi_{(c)}$; $Fe_3Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 7) $Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$; 8) $Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$; 9) $Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$; 10) $FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$; 11) $FeSi_{(c)}$; $Fe_3Si_{(c)}$ анықталды (сурет 1(в)). Ең жоғары температуралық шкала 2773K температура кезінде жүйені зерттеу барысында металдық жүйенің 2773K температурада Fe-W-Si үштік жүйесі 60 % $FeSi_{(c)}$, $Si_{(c)}$, $W_{(c)}$, 20 % $FeSi_{(c)}$, $Fe_3Si_{(c)}$, $W_{(c)}$, 12 % $Fe_3Si_{(c)}$, $Fe_{(c)}$, $W_{(c)}$ қосылыстарын қамтыды, қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-W-Si жүйесінің 8 % мөлшерін құрайтыны анықталды. Құраушы фазалардың саны 11-ге тең екендігі дәлелденді. 1) $W_{(c)}$; 2) $Si_{(c)}$; 3) $FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 4) $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 5) $Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$; 6) $FeSi_{(c)}$; $Fe_3Si_{(c)}$; $W_{(c)}$; 7) $Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$; 8) $Fe_{(c)}$; 9) $Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$; 10) $FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$; 11) $FeSi_{(c)}$; $Fe_3Si_{(c)}$ (сурет 1(г)).

Зерттелген Fe-W-Si жүйесіндегі фазалардың термодинамикалық өзгерістерге ұшырау жағдайлары және толығырақ сипатталуы 1-ші кестеде көрсетілген.

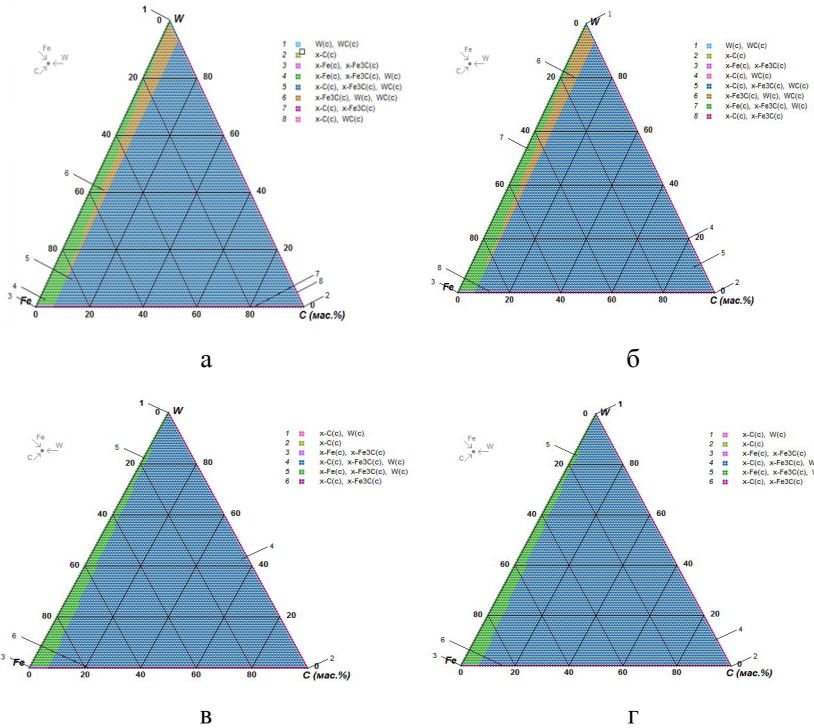
Келесі термодинамикалық зеттеулер жұмысы Fe-W-C үштік металдық жүйесіне жүргізілді. 2173K температурада зерттелетін үштік жүйенің фазалық диаграммасы келесідей нәтижелер көрсетті: аталған жүйе құрамын 2173K температурада 80 %-н $C_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$, $WC_{(c)}$, 8 %-н $Fe_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$, $W_{(c)}$, 7 %-н $Fe_3C_{(c)}$, $W_{(c)}$, $WC_{(c)}$ қосылысы құрады, қалған аз мөлшердегі қосылыстар

жиынтығы Fe-W-C жүйесінің 5 % мөлшерін құрайтындығы анықталды. Жүйені құраушы 8 қосылыс: 1) $W_{(c)}$; $WC_{(c)}$; 2) $C_{(c)}$; 3) $Fe_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; 4) $Fe_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $W_{(c)}$; 5) $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $WC_{(c)}$; 6) $Fe_3C_{(c)}$; $W_{(c)}$; $WC_{(c)}$; 7) $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; 8) $C_{(c)}$; $WC_{(c)}$ (сурет 2(а)) екендігі дәлелденді. Зерттелетін температура 2373К-ге тең болған жағдайда үштік жүйенің фазалық диаграммасының (сурет 2(б)) нәтижесі 8 қосылысты көрсетті: 1) $W_{(c)}$; $WC_{(c)}$; 2) $C_{(c)}$; 3) $Fe_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; 4) $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; 5) $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $WC_{(c)}$; 6) $Fe_3C_{(c)}$; $W_{(c)}$; $WC_{(c)}$; 7) $Fe_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $W_{(c)}$; 8) $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$. 2373К температурада Fe-W-C үштік жүйесі 80 % $C_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$, $WC_{(c)}$, 7% $Fe_3C_{(c)}$, $W_{(c)}$, $WC_{(c)}$, 8 % $Fe_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$, $W_{(c)}$ қосылысынан тұратыны құрайды, ал қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-W-C жүйесінің 5 % мөлшерін құрады.

Кесте 1 – Әртүрлі температура аймағындағы Fe-W-Si жүйесінің фазалық облыстар саны және мөлшерлері, %

№	Фазалар	Температура, К			
		2173	2373	2573	2773
		Құрамы, %			
1	$W_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
2	$Si_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
3	$Fe_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
4	$FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
5	$FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$	60	60	60	60
6	$Si_{(c)}$; $W_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
7	$FeSi_{(c)}$; $Fe_3Si_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
8	$Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$	12	12	12	12
9	$FeSi_{(c)}$; $Fe_3Si_{(c)}$; $W_{(c)}$	20	20	20	20
10	$Fe_{(c)}$; $W_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
11	$Fe_3Si_{(c)}$; $Fe_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1

Зерттелетін температура жоғарылаған сайын (2573К) үштік жүйенің фазалық диаграммасыда өзгерістерге ұшырайды. Зерттеу нәтижесінде Fe-W-C үштік жүйесін құраушы фазалар саны 6-ға кемитіндігі анықталды: 1) $W_{(c)}$; $WC_{(c)}$; 2) $C_{(c)}$; 3) $Fe_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; 4) $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $WC_{(c)}$; 5) $Fe_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $W_{(c)}$; 6) $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$.



Сурет 2 – Әртүрлі температурадағы Fe-W-C үштік жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы: 2173K (а), 2373K (б), 2573K (в), 2773K (г)

Кесте 2 – Әртүрлі температура аймағындағы Fe-W-C жүйесінің фазалық облыстар саны және мөлшерлері, %

№	Фазалар	Температура, К			
		2173	2373	2573	2773
		Құрамы, %			
1	$W_{(c)}; WC_{(c)}$	< 1	< 1	-	-
2	$C_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
3	$Fe_{(c)}; Fe_3C_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
4	$Fe_{(c)}; Fe_3C_{(c)}; W_{(c)}$	8	8	6	6
5	$C_{(c)}; Fe_3C_{(c)}; WC_{(c)}$	80	80	90	90
6	$Fe_3C_{(c)}; W_{(c)}; WC_{(c)}$	7	7	-	-

7	$C_{(c)}; Fe_3C_{(c)}$	< 1	< 1	< 1	< 1
8	$C_{(c)}; WC_{(c)}$	< 1	< 1	-	-
9	$C_{(c)}; W_{(c)}$	-	-	< 1	< 1

2573К температурада Fe-W-C үштік жүйесінің 90%-н $C_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$, $WC_{(c)}$, 6%-н $Fe_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$, $W_{(c)}$ қосылысы құраса, ал қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-W-C жүйесінің 4% мөлшерімен шектелді.

Температуралық шкала ең жоғарғы нүктеде (2773К) термодинамикалық есептеу жүргізген кезде жүйені құраушы 6 фаза болатындығы дәлелденді: 1) $W_{(c)}$; $W_{(c)}$; 2) $C_{(c)}$; 3) $Fe_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; 4) $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $W_{(c)}$; 5) $Fe_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $W_{(c)}$; 6) $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$. 2773К температурада Fe-W-C үштік жүйесінің 90 %-н $C_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$, $WC_{(c)}$, 6 %-н $Fe_{(c)}$, $Fe_3C_{(c)}$, $W_{(c)}$ қосылысы құрады, қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-W-C жүйесінің 4 % мөлшерін құрады. Зерттелген жүйедегі өзгерістерді нақтырақ 2-ші кестеден көруге болады.

Қорытынды

Алынған нәтижелерді талдау барысында зерттелген Fe-W-Si үштік жүйесінде фазалар құрамы мен саны бойынша ауқымды өзгерістерге ұшырамайтындығы анықталды. 2173-2773К температуралар арасында зерттеу жұмыстарының нәтижесі жүйенің құрамын 11 фаза құрайтындығы дәлелденді. Негізінен жүйенің басым бөлігін шамамен 60 %-н $FeSi_{(c)}$; $Si_{(c)}$; $W_{(c)}$ фазасы құрайтындығы анықталды.

Келесі Fe-W-C үштік жүйесінің зерттеу нәтижелерінде айтарлықтай фазалық түрленулер орын алатындығы байқалады. 2173-2373К температуралар кезінде жүйені құраушы 8 фаза болатындығы анықталды және зерттелген температуралар интервалында жүйенің 80 % $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $WC_{(c)}$ мөлшерін құрайтынын көрсетті. 2173-2373К температурада 1 %-ға жуық мөлшерде кездесетін $W_{(c)}$; $WC_{(c)}$ фазасы температура артуымен құрамын жоятындығы анықталды. $Fe_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $W_{(c)}$ фазалары 2173-2373К температура интервалында жүйенің 8% мөлшерін құрап, температура 2573-2773К-ге көтерілгенде мөлшері 6 %-ға төмендейтіні де дәлелденді. Төмен температуралар (2173-2373К) аймағынла 7 %-ға жуық мөлшерде кездесіп, температуралық шкала жоғарлаған кезде (2573-2773К) жойылатын фаза анықталды: $Fe_3C_{(c)}$; $W_{(c)}$; $WC_{(c)}$. 2573-2773К температурада $C_{(c)}$; $Fe_3C_{(c)}$; $WC_{(c)}$ фазасының мөлшері 90 %-ға артатыны дәлелденді. 2573-2773К температура кезінде пайда болатын жаңа фаза анықталды. $C_{(c)}$; $W_{(c)}$ жоғары температуралар интервалында түзіліп жүйенің шамамен 1 %-н құрады.

Зерттеу нәтижелері темір-вольфрам қорытпаларын балқытудың нақты материалдық тепе-теңдігін құру негізін және қорытпаның құрамын реттеу мүмкіндігін береді.

Пайдаланған деректер тізімі

- 1 **Габдуллин Т. Г., Такенов Т. Д., Байсанов С. О., Букетов Е. А.** Физико-химические свойства марганцевых шлаков. – Алматы : Наука, 1984. 232 с.
- 2 **Акбердин А.А.** Балансовый метод расчета равновесного фазового состава многокомпонентных систем // КИМС. – 1995. – №3. – С. 92-93.
- 3 **Акбердин А.А., Сарекенов К.З., Сaitов Р.И.** Аналитическое описание фазового равновесия в системе CaO-SiO₂-FeO-ZnO //Вестник Карагандинского университета. – Караганда. – 2005. – №1(37). – С. 14-18.
- 4 **Симбинов Р.Д., Малышев В.П.** Термодинамическое, стехиометрическое и эксергетическое моделирование фазовых равновесий. – Алматы : Гылым, 1999. – 100 с.
- 5 Диаграмма состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Под ред. О.А. Банных, М.Е.Дрица // М. : Металлургия, 1986.
- 6 **Кубашевски О.** Диаграммы состояния двойных систем на основе железа. Пер. с англ. /Под. Ред. Л.А. Петровой. – М. : Металлургия, 1985. – 184 с.
- 7 Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Справочник / О.А. Банных, П.Б Будберг, С.П. Алисова и др. – М. : Металлургия, 1986. – 440 с.
- 8 **Кубашевски О.** Диаграммы состояния двойных систем на основе железа/ Пер. с англ. Под ред. Л.А. Петровой. – М. : Металлургия, 1985. – 184 с.
- 9 Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа : Справочник / Под ред. О.А. Банных и М.Е. Дрица. – М. : Металлургия, 1986. – 440 с.
- 10 **Жуков А.А.** Стабильные и метастабильные фазы в материалах. – Киев : ИПМ АН УССР, 1987. – С. 58-70.

References

- 1 **Gabdullin T. G., Takenov T. D., Baisanov S. O., Buketov E. A.** Fiziko-khimicheskiye svoystva margantsevykh shlakov [Physicochemical properties of manganese slags]. – Almaty : Nauka, 1984. – 232 p.
- 2 **Akberdin A. A.** Balansovyy metod rascheta ravnovesnogo fazovogo sostava mnogokomponentnykh sistem [Balance method for calculating the equilibrium phase composition of multicomponent systems]. – 1995. – № 3. – P. 92-93.
- 3 **Akberdin A. A., Sarekenov K. Z., Saitov R. I.** Analiticheskoye opisaniye fazovogo ravnovesiya v sisteme CaO-SiO₂-FeO-ZnO [Analytical description of phase equilibrium in the CaO-SiO₂-FeO-ZnO system]. Bulletin of the Karaganda University.– Karaganda. – 2005. – №1(37). – P. 14-18.

4 **Simbinov R. D., Malyshev V. P.** Termodinamicheskoye, stekhiometricheskoye i eksergeticheskoye modelirovaniye fazovykh ravnesiy [Thermodynamic, stoichiometric and exergetic modeling of phase equilibria]. – Almaty : Gylym, 1999. – 100 p.

5 Diagramma sostoyaniya dvoynykh i mnogokomponentnykh sistem na osnove zheleza [State diagram of binary and multicomponent systems based on iron]. Edited by O. A. Bannykh, M. E. Drits. – M. : Metallurgiya, 1986.

6 **Kubashevsky O.** Diagrammy sostoyaniya dvoynykh sistem na osnove zheleza [State diagrams of iron-based binary systems]. Transl. from English. Edited by O. Kubashevsky. – Moscow : Metallurgiya, 1985. – 184 p.

7 Diagrammy sostoyaniya dvoynykh i mnogokomponentnykh sistem na osnove zheleza. Spravochnik [Diagrams of the state of two-and multi-component systems based on iron. Reference]. Ed. by O. A. Bannykh, P. B Budberg, S. P. Alisova, et al. – M. : Metallurgiya, 1986. – 440 p.

8 **Kubashevsky O.** Diagrammy sostoyaniya dvoynykh sistem na osnove zheleza [State diagrams of iron-based binary systems]. Transl. from English. Edited by O. Kubashevsky. – Moscow : Metallurgiya, 1985. – 184 p.

9 Diagrammy sostoyaniya dvoynykh i mnogokomponentnykh sistem na osnove zheleza. Spravochnik [Diagrams of the state of double and multicomponent systems based on iron. Reference]. Edited by O. A. Bannykh, M. E. Drits. – Moscow : Metallurgiya, 1986. – 440 p.

10 **Zhukov A. A.** Stabil'nyye i metastabil'nyye fazy v materialakh [Stable and metastable phases in materials]. – Kiev : IPM AN USSR, 1987. – P. 58-70.

Материал 12.06.21 баспаға түсті.

**А. Г. Бурумбаев, Б. С. Келаманов, А. М. Әбдірашит, О. Р. Сариев*
Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Республика Казахстан, г. Актөбе.
Материал поступил в редакцию 12.06.21.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ Fe-W-Si И Fe-W-C

В статье рассмотрены вопросы исследования и проведения термодинамических расчетов с использованием комплексной программы «Triangle» для тройной системы Fe-W-Si и Fe-W-C. По полученным результатам были изучены основные фазы, образовавшегося в железо-вольфрамовых сплавах, и их изменения в зависимости от температуры. Кроме того, была рассмотрена

возможность создания реального материального баланса плавки и термодинамического регулирования состава сплава.

Ключевые слова: термодинамика, фаза, система, температура, диаграмма, соединения.

**A. G. Burumbaev, B. S. Kelamanov, A. M. Abdrashit, O. R. Sariev*

Aktobe Regional University after named K. Zhubanov,

Republic of Kazakhstan, Aktobe.

Material received on 12.06.21.

MODELING AND ANALYSIS OF THERMODYNAMIC PROCESSES IN Fe-W-Si AND Fe-W-C SYSTEMS

The article deals with the research and implementation of thermodynamic calculations using the complex program «Triangle» for the triple system Fe-W-Si and Fe-W-C. By the results the main phases a investigated that occur. In addition, the possibility of creating a real material equilibrium of melting and thermodynamic regulation of the alloy composition was considered.

Keywords: thermodynamics, phase, system, temperature, diagram, compounds.

Теруге 12.06.2021 ж. жіберілді. Басуға 24.06.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

6,28 Мб RAM

Шартты баспа табағы 15,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3792

Сдано в набор 12.06.2021 г. Подписано в печать 24.06.2021 г.

Электронное издание

6,28 Мб RAM

Усл. печ. л. 15,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3792

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

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

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

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

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz