

сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27–28 қараша 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – 162–167 б.

8. Носков В.А. Современное состояние брикетирования техногенных отходов на металлургических предприятиях Украины. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 6. –90–94 б.

МРНТИ 53.03.09

Fe-Ti-Al ЖӘНЕ Fe-Ti-Si ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҮРДІСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

Б. С. КЕЛАМАНОВ¹, А. Г. БУРУМБАЕВ², О.Р. Сариев³

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

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

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

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию и выполнению термодинамических расчетов с использованием комплексной программы «Triangle» для тройной системы Fe-Ti-Al и Fe-Ti-Si. На основе полученных результатов изучены основные фазы, образующиеся в железо-титановых сплавах, и их изменение в зависимости от температуры. Кроме того, рассматривалась возможность создания реального материального баланса плавления и термодинамического регулирования состава сплава.

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

Annotation. The article deals with the research and implementation of thermodynamic calculations using the integrated program «Triangle» for the triple system Fe-Ti-Al and Fe-Ti-Si. Based on the results obtained, the main phases formed in iron-titanium alloys and their changes depending on temperature were studied. In addition, the possibility of creating a real material balance of melting and thermodynamic regulation of the alloy composition was considered.

Key words: thermodynamics, phase, system, temperature, diagram, compounds.

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 сараптау әдісі белгілі.

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

Металлургияның іргелі зерттеулері мен қолайлы әзірлемелерінде температура мен қысымға байланысты пирометаллургиялық өңдеуден өткен шикізаттың алуан түрлерін зерттеу ерекше орын алады. Айта кету керек, күрделі көп компонентті жүйелердегі үрдістерді классикалық термодинамикалық зерттеу өте қиын, күрделі математикалық есептеулерді қолдануды қажет етеді және көптеген тәуелсіз реакциялардың термодинамикалық параметрлерін анықтау қажеттілігімен байланысты. Көбінесе реакциялардың Гиббс бос энергиясының өзгеруін анықтау үшін қажетті заттардың барлық қасиеттері туралы мәліметтер шектеулі немесе жоқ, бұл қолайлы жағдайларда көп компонентті жүйелерді термодинамикалық талдау мүмкіндігін жоққа шығарады. [5,6].

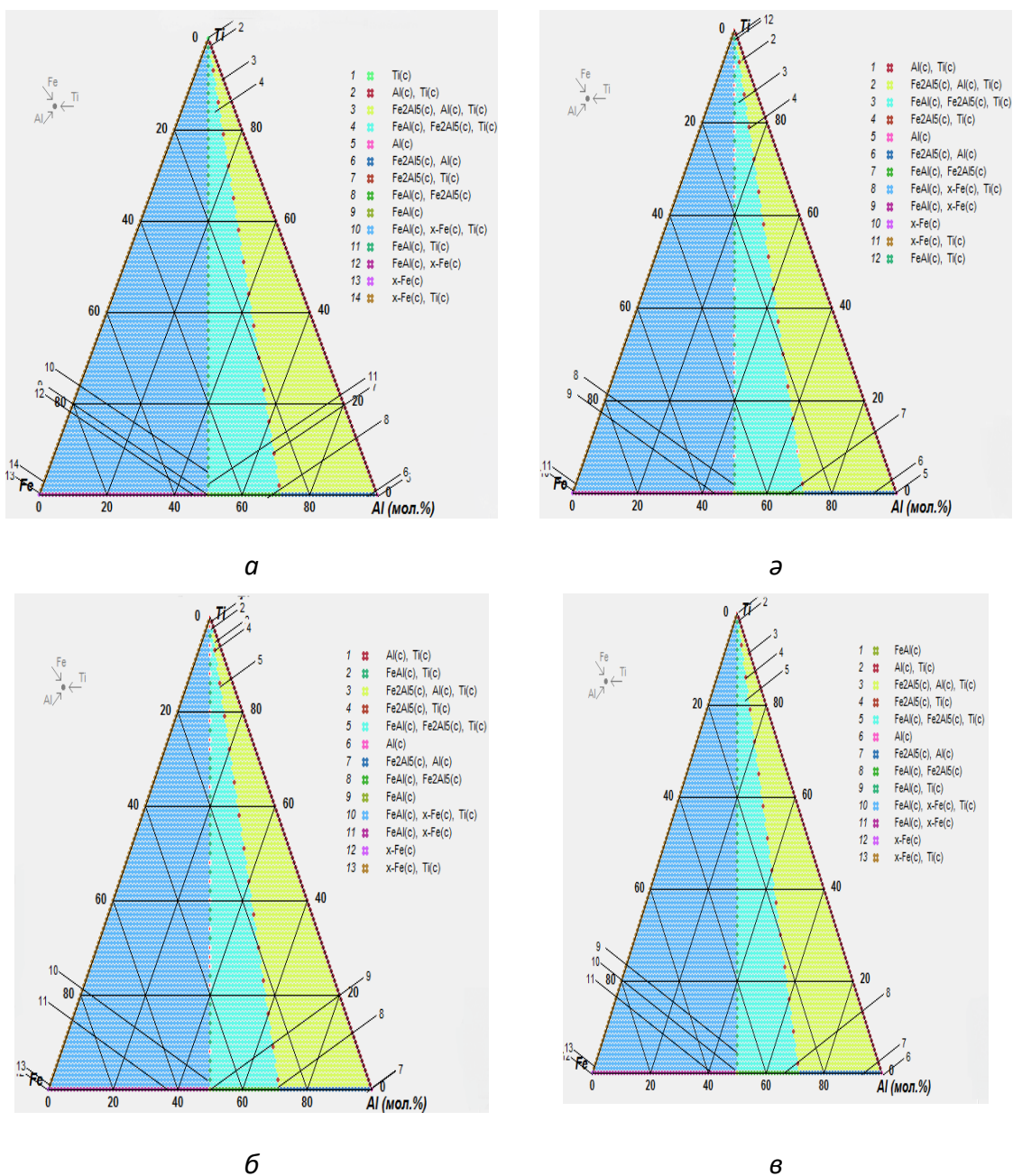
Термодинамикалық тепе-теңдікті модельдеудің негізгі міндеті фазалық және химиялық құрамды, сондай-ақ зерттелетін жүйенің термодинамикалық параметрлерінің мәндерін анықтау болып табылады [7]. Сондықтан аталған жұмыс аясында «Тerra» кешенді бағдарламасының көмегімен Fe-Ti-Al-Si төрткомпонентті жүйені құрайтын, әрбір жеке жүйелерге термодинамикалық талдау жүргізілді. «Terra» кешенді бағдарламасында «Triangle» интерфейсі қарастырылған, оның көмегімен бір циклде конденсацияланған барлық фазардың кешенін құруға болады [8].

Негізгі бөлім. «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 (T , К) және қысым (p , МПа) мәндерімен орнатылған кезде. Ал екіншіден есептеудің әр нүктесінде қысым (p , МПа) және энтальпия (бастапқы материалдардың қалыптасу энтальпиясы) (I , кДж/кг) мәндерімен көрсетілген адиабатикалық тепе-теңдік өзгерісі (жану) жағдайлары үшін [9]. «Triangle» бағдарламасымен Fe-Ti-Al-Si негізіндегі металдық жүйенің негізгі құраушылары болатын Fe-Ti-Al және Fe-Ti-Si үштік жүйелерін зерттеу жұмысы жүргізілді. Аталған үштік жүйелерді 1473, 1673, 1873 және 2073К температураларда термодинамикалық өзгерістерге ұшырау мүмкіндіктері зерттеліп, жүйелердің диаграммалары тұрғызылды. Диаграмманы құру осы температуралардың шамасына байланысты болды [10]. Нәтижелер 1-ші суретте бейнеленген.

«Triangle» кешенді бағдарламасын қолдана отырып 1473К температурада пайда болатын қосылыстардан тұратын үштік жүйенің фазалық диаграммасы тұрғызылды. Нәтижесінде, Fe-Ti-Al үштік жүйесі: 1)Ti(c); 2)Al(c), Ti(c); 3)Fe₂Al₅(c), Al(c), Ti(c); 4)FeAl(c), Fe₂Al₅(c), Ti(c); 5)Al(c); 6)Fe₂Al₅(c), Al(c); 7)Fe₂Al₅(c), Ti(c); 8)FeAl(c), Fe₂Al₅(c); 9)FeAl(c); 10) FeAl(c), Fe(c), Ti(c); 11) FeAl(c), Ti(c); 12)FeAl(c), x-Fe(c); 13)Fe(c); 14) Fe(c), Ti(c) құраушы 14 фазадан тұратындығы анықталды. 1473К температурада Fe-Ti-Al үштік жүйесінің фазалық құраушылығы: 50% FeAl(c), Fe(c), Ti(c), 19% FeAl(c), Fe₂Al₅(c), Ti(c), 20% Fe₂Al₅(c), Al(c),Ti(c) құралғаны анықталды, аз мөлшердегі қалған қосылыстар жиынтығы Fe-Ti-Al жүйесінің 11% мөлшерін құрады (сурет 1(а)). Зерттелген Fe-Ti-Al жүйесіндегі фазалардың термодинамикалық өзгерістерге ұшырау жағдайлары және толығырақ сипатталуы 1-ші кестеде көрсетілген. Зерттелетін температура 1673К-ге жоғарылаған кезде орын алатын фазалық өзгерістер келесі үштік жүйенің диаграммасында қарастырылады (сурет 1 (ә)). Зерттеу жұмыстарының нәтижесінде қарастырылған жүйе: 1)Al(c), Ti(c); 2)Fe₂Al₅(c), Al(c), Ti(c); 3)FeAl(c), Fe₂Al₅(c), Ti(c); 4)Fe₂Al₅(c), Ti(c); 5)Al(c); 6)Fe₂Al₅(c),Al(c); 7)FeAl(c), Fe₂Al₅(c); 8)FeAl(c), Fe(c), Ti(c); 9)FeAl(c), Fe(c); 10)Fe(c); 11) Fe(c), Ti(c); 12)FeAl(c), Ti(c) сияқты 12 фазадан тұратындығы дәлелденді. Жүйенің негізгі құраушы фазалары 1673К температурада Fe-Ti-Al үштік жүйесінің 50%-н FeAl(c), Fe(c), Ti(c), 20%-н FeAl(c), Fe₂Al₅(c), Ti(c), 21%-н FeAl₃(c), Al(c), Ti(c) қосылыстары құрайды, қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-Ti-Al жүйесінің 9% мөлшерімен шектеледі. Термодинамикалық жүйені талдау нәтижесінде температураны әрі қарай 1873К-ге жоғарлату келесі зерттеу нәтижелерін анықтады: Fe-Ti-Al үштік жүйесінің 1873К температурада: 50% FeAl(c), Fe(c), Ti(c), 20% Fe₂Al₅(c), 21% Fe₂Al₅(c), Al(c), Ti(c) қосылыстарынан тұратыны дәлелденді, қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-Ti-Al жүйесінің 9% мөлшерін құрады. Жүйені құрайтын негізгі фазалар: 1)Al(c), Ti(c); 2)FeAl(c), Ti(c); 3)Fe₂Al₅(c), Al (c), Ti(c); 4)Fe₂Al₅(c), Ti(c); 5) FeAl(c), Fe₂Al₅(c), Ti(c); 6)Al(c); 7)Fe₂Al₅(c), Al(c); 8)FeAl(c), Fe₂Al₅(c); 9)FeAl(c);

10)FeAl(c), Fe(c), Ti(c); 11)FeAl(c), Ti(c); 12)Fe(c); 13)Fe(c), Ti(c) фазалары екендігі анықталды (сурет 1(б)).



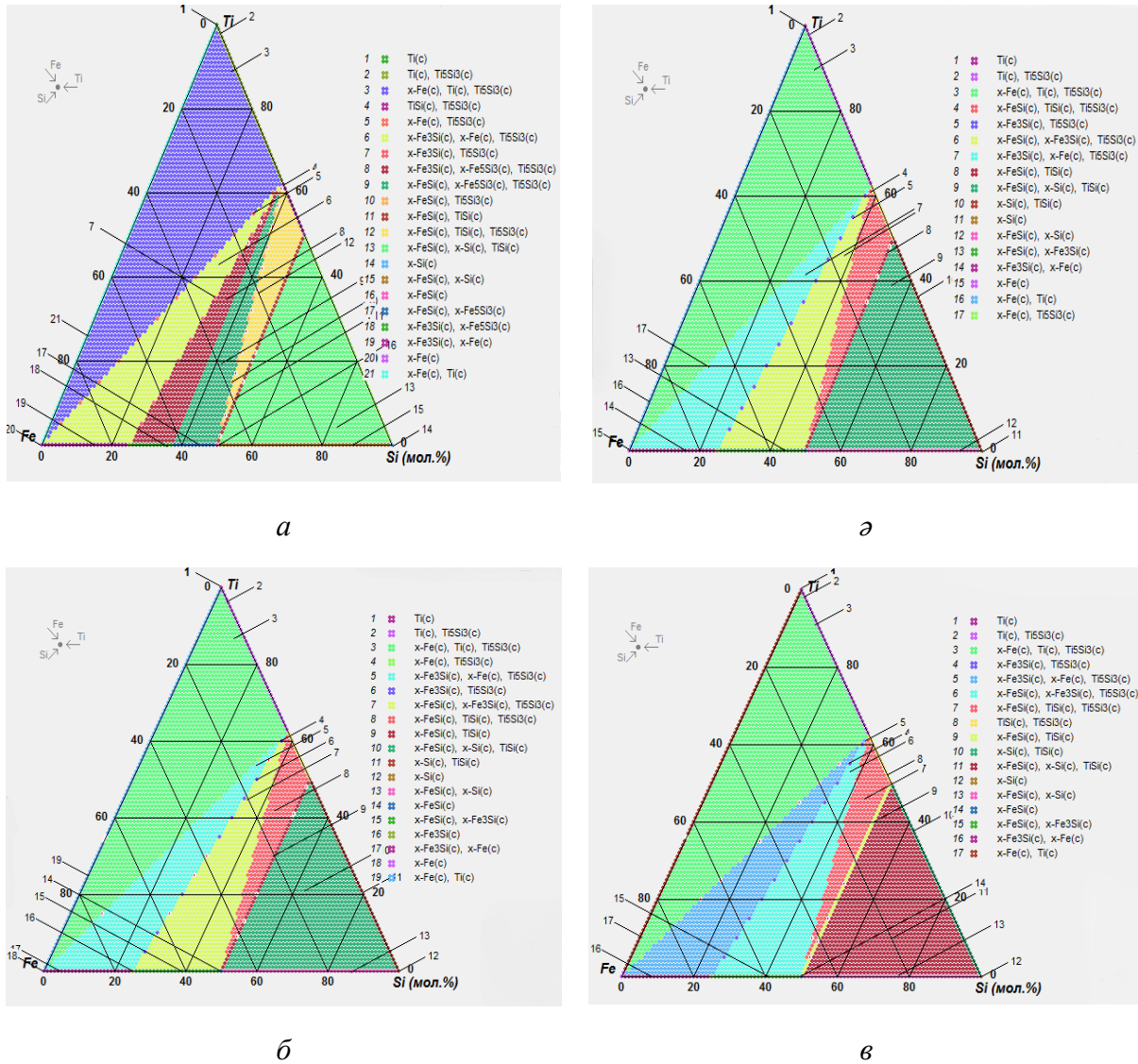
Сурет 1 - Әртүрлі температурадағы Fe-Ti-Al үштік жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы: 1473К (а), 1673К (б), 1873К (в), 2073К (г)

Кесте 1 - 1473К, 1673К, 1873К, 2073К температуралар интервалында Fe-Ti-Al үштік жүйесінің фазалық құрамы

№	Фазалар	1473К	1673К	1873К	2073К
		Құрамы, %			
		N, моль/кг			
1	Ti(c)	≤ 1	-	-	≤ 1
		Ti(c)=20,8766	-	-	Ti(c)=20,8766
2	Al(c), Ti(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Al(c)=0,4212	Al(c)=0,2096	Al(c)=0,2096	Al(c)=0,4212
		Ti(c)=20,6393	Ti(c)=20,7585	Ti(c)=20,7585	Ti(c)=20,6393
3	Fe ₂ Al ₅ (c), Al(c), Ti(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Fe ₂ Al ₅ (c)=0,11	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,11	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,11	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,11
		Al(c)=1,1877	Al(c)=0,5326	Al(c)=0,3182	Al(c)=1,1877
		Ti(c)=19,6517	Ti(c)=20,0281	Ti(c)=20,1514	Ti(c)=19,6517
4	FeAl(c), Fe ₂ Al ₅ (c), Ti(c)	≤ 20	≤ 21	≤ 21	≤ 21
		FeAl(c)=0,7202	FeAl(c)=1,22	FeAl(c)=0,36	FeAl(c)=0,80
		Fe ₂ Al ₅ (c)=0,29	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,14	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,36	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,36
		Ti(c)=18,1483	Ti(c)=18,0358	Ti(c)=18,3959	Ti(c)=17,6292
5	Al(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Al(c)=37,0619	Al(c)=37,0619	Al(c)=37,0619	Al(c)=37,0619
6	Fe ₂ Al ₅ (c), Al(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Fe ₂ Al ₅ (c)=0,54	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,54	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,36	Fe ₂ Al ₅ (c)=1,21
		Al(c)=32,1390	Al(c)=32,1390	Al(c)=33,7456	Al(c)=26,0323
7	Fe ₂ Al ₅ (c), Ti(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Fe ₂ Al ₅ (c)=3,57	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,66	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,21	Fe ₂ Al ₅ (c)=0,43
		Ti(c)=2,4746	Ti(c)=17,4626	Ti(c)=19,7816	Ti(c)=18,6444
8	FeAl(c), Fe ₂ Al ₅ (c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		FeAl(c)=2,2088	FeAl(c)=3,44	FeAl(c)=0,28	FeAl(c)=3,44
		Fe ₂ Al ₅ (c)=3,31	Fe ₂ Al ₅ (c)=2,90	Fe ₂ Al ₅ (c)=3,96	Fe ₂ Al ₅ (c)=2,90
9	FeAl(c)	≤ 1	-	≤ 1	-
		FeAl(c)=12,07	-	FeAl(c)=12,07	-
10	FeAl(c), Fe(c), Ti(c)	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50
		FeAl(c)=11,22	FeAl(c)=11,47	FeAl(c)=11,47	FeAl(c)=11,45
		Fe(c)=0,2388	Fe(c)=0,4781	Fe(c)=0,4781	Fe(c)=0,7158
		Ti(c)=1,1938	Ti(c)=0,4781	Ti(c)=0,4781	Ti(c)=0,2386
11	FeAl(c), Ti(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		FeAl(c)=11,79	FeAl(c)=0,21	FeAl(c)=0,21	FeAl(c)=11,52
12	FeAl(c), Fe(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		FeAl(c)=10,81	FeAl(c)=10,20	FeAl(c)=8,19	FeAl(c)=9,03
13	Fe(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Fe(c)=17,9058	Fe(c)=17,9058	Fe(c)=17,9058	Fe(c)=17,9058
14	Fe(c), Ti(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Fe(c)=17,4431	Fe(c)=17,5978	Fe(c)=17,7520	Fe(c)=17,5978
		Ti(c)=0,5395	Ti(c)=0,3591	Ti(c)=0,1793	Ti(c)=0,3591

Ең жоғары температуралық шкала 2073К температура кезінде жүйені зерттеу барысында металдық Fe-Ti-Al үштік жүйесі 50% FeAl(c), Fe(c), Ti(c), 20% FeAl(c), Fe₂Al₅(c), Ti(c), 21% Fe₂Al₅(c), Al(c),Ti(c) қосылыстарын қамтыды, қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-Ti-Al жүйесінің 9% мөлшерін құрайтыны анықталды. Құраушы фазалардың

саны 13-ке тең екендігі дәлелденді. 1)FeAl(c); 2)Al (c), Ti(c); 3)Fe₂Al₅(c), Al (c), Ti(c); 4)Fe₂Al₅(c), Ti(c); 5)FeAl(c), Fe₂Al₅(c), Ti(c); 6)Al(c); 7)Fe₂Al₅(c), Al(c); 8)FeAl(c), Fe₂Al₅(c); 9)FeAl(c), Ti(c); 10)FeAl(c), Fe(c), Ti(c); 11)FeAl (c), Fe(c); 12)Fe(c); 13)Fec), Ti(c) (сурет 1(в)).



Сурет 2 - Әртүрлі температурадағы Fe-Ti-Si үштік жүйесінің

фазалық құрамының диаграммасы: 1473K (а), 1673K (б), 1873K (в), 2073K (г)

Келесі термодинамкалық зерттеулер жұмысы Fe-Ti-Si үштік металдық жүйесіне жүргізілді. 1473K температурада зерттелетін үштік жүйенің фазалық диаграммасы келесідей нәтижелер көрсетті: аталған жүйе құрамын 1473K температурада 34% Fe(c), Ti(c), Ti₅Si₃(c), 16% FeSi(c), x-Si(c), TiSi(c), 8% FeSi(c), TiSi(c), Ti₅Si₃(c), 8% FeSi(c), Fe₅Si₃(c) Ti₅Si₃(c), 8% Fe₃Si(c), Fe₅Si₃(c), Ti₅Si₃(c), 11% Fe₃Si(c), Fe(c), Ti₅Si₃(c) қосылыстары құрады, қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-Ti-Si жүйесінің 15% мөлшерін құрайтындығы анықталды. Жүйені құраушы 21 қосылыс: 1)Ti(c); 2)Ti(c), Ti₅Si₃(c); 3)Fe(c), Ti(c), Ti₅Si₃(c);

4)TiSi(c),Ti₅Si₃(c); 5)Fe(c), Ti₅Si₃(c); 6)Fe₃Si(c), Fe(c), Ti₅Si₃(c); 7)Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c); 8)Fe₃Si(c), Fe₅Si₃(c) Ti₅Si₃(c); 9)FeSi(c), Fe₅Si₃(c), Ti₅Si₃(c); 10)FeSi(c), Ti₅Si₃(c); 11)FeSi(c), TiSi₃(c); 12)FeSi(c), TiSi(c), Ti₅Si₃(c); 13)FeSi(c), Si(c), TiSi(c); 14)Si(c); 15)FeSi(c), Si(c); 16)FeSi(c); 17)FeSi(c), Fe₅Si₃(c); 18)Fe₃Si(c), Fe₅Si₃(c); 19)Fe₃Si(c), Fe(c); 20)Fe(c); 21)Fe(c), Ti(c) (сурет 2(a)) екендігі дәлелденді.

Зерттелетін температура 1673K-ге тең болған жағдайда үштік жүйенің фазалық диаграммасының (сурет 2(ә)) нәтижесі 17 қосылысты көрсетті: 1)Ti(c); 2)Ti(c), Ti₅Si₃(c); 3)Fe(c), Ti(c), Ti₅Si₃(c); 4)FeSi(c), TiSi(c), Ti₅Si₃(c); 5)Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c); 6)FeSi(c), Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c); 7)Fe₃Si(c), Fe(c), Ti₅Si₃(c); 8)FeSi(c), TiSi(c); 9)FeSi(c), Si(c), TiSi(c); 10)Si(c), TiSi(c); 11)Si(c); 12)FeSi(c), Si(c); 13)FeSi(c), Fe₃Si(c); 14)Fe₃Si(c), Fe(c); 15)Fe(c); 16)Fe(c), Ti(c); 17)Fe(c), Ti₅Si₃(c). 1673K температурада Fe-Ti-Si үштік жүйесі 38% Fe(c), Ti(c), Ti₅Si₃(c), 16% FeSi(c), Si(c), TiSi(c), 8% FeSi(c), TiSi(c), Ti₅Si₃(c), 13% Fe₃Si(c), Fe(c), Ti₅Si₃(c), 13% FeSi(c), Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c) қосылыстары құрайды, ал қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-Ti-Si жүйесінің 12% мөлшерін құрады. Зерттелетін температура жоғарылаған сайын (1873K) үштік жүйенің фазалық диаграммасыда өзгерістерге ұшырайды. Зерттеу нәтижесінде **Fe-Ti-Si** үштік жүйесін құраушы фазалар саны 19 екендігі анықталды: 1)Ti(c); 2)Ti(c), Ti₅Si₃(c); 3)Fe(c), Ti(c), Ti₅Si₃(c); 4)Fe(c), Ti₅Si₃(c); 5)Fe₃Si(c), Fe(c), Ti₅Si₃(c); 6)Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c); 7)FeSi(c), Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c); 8)FeSi(c), TiSi(c), Ti₅Si₃(c); 9)FeSi(c), TiSi(c); 10)FeSi(c), Si(c), TiSi(c); 11)Si(c), TiSi(c); 12)Si(c); 13)FeSi(c), Si(c); 14)FeSi(c); 15)FeSi(c), Fe₃Si(c); 16) Fe₃Si(c); 17)Fe₃Si(c), Fe(c); 18)Fe(c); 19)Fe(c), Ti(c) (сурет 2(б)). Зерттелген жүйенің 38%-н Fe(c), Ti(c), Ti₅Si₃(c), 16%-н FeSi(c), Si(c), TiSi(c), 8%-н FeSi(c), TiSi(c), Ti₅Si₃(c), 12%-н Fe₃Si(c), Fe(c), Ti₅Si₃(c), 12%-н FeSi(c), Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c), , қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-Ti-Si жүйесінің 14% мөлшерін құрайтындығы анықталды.

Fe-Ti-Si жүйесін 2073K температура кезінде жүргізілген зерттеу жұмыстары бойынша 17 қосылыстан тұраны анықталды: 1)Ti(c); 2)Ti(c), Ti₅Si₃(c); 3)Fe(c), Ti(c), Ti₅Si₃(c); 4)Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c); 5)Fe₃Si(c), Fe(c), Ti₅Si₃(c); 6)FeSi(c), Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c); 7)FeSi(c), TiSi(c), Ti₅Si₃(c); 8)TiSi(c), Ti₅Si₃(c); 9)FeSi(c), TiSi(c); 10)Si(c), TiSi(c); 11)FeSi(c), Si(c), TiSi(c); 12)Si(c); 13)FeSi(c), Si(c); 14)FeSi(c); 15)FeSi(c), Fe₃Si(c); 16) Fe₃Si(c), Fe(c); 17) Fe(c), Ti(c) (сурет 2(г)). 2073K температурада Fe-Ti-Si жүйесінің 38%-н Fe(c), Ti(c), Ti₅Si₃(c), 16%-н FeSi(c), Si(c), TiSi(c), 8%-н FeSi(c), TiSi(c), Ti₅Si₃(c), 13%-н Fe₃Si(c), Fe(c), Ti₅Si₃(c), 13%-н FeSi(c), Fe₃Si(c), Ti₅Si₃(c) қосылыстары, қалған аз мөлшердегі қосылыстар жиынтығы Fe-W-C жүйесінің 12% мөлшерін құрады.

Кесте 2 - 1473К, 1673К, 1873К, 2073К температуралар кезінде Fe-Ti-Si үштік жүйесінің фазалық құрамы

№	Фазалар	1473К	1673К	1873К	2073К
		Құрамы, %			
		N, моль/кг			
1	2	3	4	5	6
1	Ti(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Ti(c)=20,8765	Ti(c)=20,8765	Ti(c)=20,8765	Ti(c)=20,8765
2	Ti(c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		TiSi(c)=19,91	Ti(c)=19,91	Ti(c)=18,96	Ti(c)=19,93
		Ti ₅ Si ₃ (c)=0,14	Ti ₅ Si ₃ (c)=0,14	Ti ₅ Si ₃ (c)=0,28	Ti ₅ Si ₃ (c)=0,14
3	Fe(c), Ti(c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 34	≤ 38	≤ 38	≤ 38
		Fe(c)=0,2174	Fe(c)=0,4304	Fe(c)=0,6500	Fe(c)=0,2155
		Ti(c)=15,7251	Ti(c)=16,4966	Ti(c)=15,2377	Ti(c)=16,7404
		Ti ₅ Si ₃ (c)=0,72	Ti ₅ Si ₃ (c)=0,57	Ti ₅ Si ₃ (c)=0,72	Ti ₅ Si ₃ (c)=0,57
4	TiSi(c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 1	-	-	≤ 1
		TiSi(c)=0,4953	-	-	TiSi(c)=10,94
		Ti ₅ Si ₃ (c)=2,97	-	-	Ti ₅ Si ₃ (c)=0,52
5	Fe(c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	-
		Fe(c)=2,8358	Fe(c)=13,3525	Fe(c)=0,9736	-
		Ti ₅ Si ₃ (c)=2,60	Ti ₅ Si ₃ (c)=0,79	Ti ₅ Si ₃ (c)=2,92	-
6	Fe ₃ Si(c), Fe(c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 11	≤ 13	≤ 12	≤ 13
		Fe ₃ Si(c)=0,72	Fe ₃ Si(c)=0,85	Fe ₃ Si(c)=0,14	Fe ₃ Si(c)=0,10
		Fe(c)=4,1461	Fe(c)=3,95	Fe(c)=2,6418	Fe(c)=0,1964
		Ti ₅ Si ₃ (c)=1,94	Ti ₅ Si ₃ (c)=1,89	Ti ₅ Si ₃ (c)=2,55	Ti ₅ Si ₃ (c)=2,3
7	Fe ₃ Si(c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Fe ₃ Si(c)=2,49	Fe ₃ Si(c)=0,72	Fe ₃ Si(c)=1,19	Fe ₃ Si(c)=0,72
		Ti ₅ Si ₃ (c)=1,58	Ti ₅ Si ₃ (c)=2,65	Ti ₅ Si ₃ (c)=2,37	Ti ₅ Si ₃ (c)=2,65
8	Fe ₃ Si(c), Fe ₅ Si ₃ (c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 8	-	-	-
		Fe ₃ Si(c)=1,15	-	-	-
		Fe ₅ Si ₃ (c)=1,17	-	-	-
9	FeSi(c), Fe ₅ Si ₃ (c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 8	-	-	-
		FeSi(c)=3,27	-	-	-
		Fe ₅ Si ₃ (c)=1,17	-	-	-
		Ti ₅ Si ₃ (c)=0,93	-	-	-
10	FeSi(c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 1	-	-	-
		FeSi(c)=9,13	-	-	-
11	FeSi(c), TiSi(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		FeSi(c)=9,49	FeSi(c)=1,04	FeSi(c)=5,05	FeSi(c)=2,58
12	FeSi(c), TiSi(c), Ti ₅ Si ₃ (c)	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 8
		FeSi(c)=4,50	FeSi(c)=0,25	FeSi(c)=3,47	FeSi(c)=2,5
		TiSi(c)=1,4716	TiSi(c)=0,2472	TiSi(c)=2,9781	TiSi(c)=4,0023
13	FeSi(c), Si(c), TiSi(c)	≤ 16	≤ 16	≤ 16	≤ 16
		FeSi(c)=4,27	FeSi(c)=1,60	FeSi(c)=4,36	FeSi(c)=5,61
		Si(c)=19,5328	Si(c)=2,6681	Si(c)=7,0866	Si(c)=11,2297
		TiSi(c)=1,2208	TiSi(c)=10,41	TiSi(c)=5,7238	TiSi(c)=2,8074

1	2	3	4	5	6
14	Si _(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Si(c)=35,6045	Si(c)=35,6044	Si(c)=35,6045	Si(c)=35,6045
15	FeSi _(c) , Si _(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		FeSi(c)=3,53 Si(c)=25,0481	FeSi(c)=2,02 Si(c)=29,5778	FeSi(c)=4,38 Si(c)=22,5190	FeSi(c)=6,67 Si(c)=15,6651
16	FeSi _(c)	-	-	-	-
		FeSi(c)=11,91	-	FeSi(c)=11,91	FeSi(c)=11,91
17	FeSi _(c) , Fe ₅ Si _{3(c)}	≤ 1	-	-	-
		FeSi(c)=5,96 Fe ₅ Si _{3(c)} =1,38	-	-	-
18	Fe ₃ Si _(c) , Fe ₅ Si _{3(c)}	≤ 1	-	-	-
		Fe ₃ Si(c)=0,65 Fe ₅ Si _{3(c)} =2,40	-	-	-
19	Fe ₃ Si _(c) , Fe _(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Fe ₃ Si(c)=2,90 Fe(c)=7,7395	Fe ₃ Si(c)=3,11 Fe(c)=7,0031	Fe ₃ Si(c)=0,73 Fe(c)=15,3461	Fe ₃ Si(c)=1,49 Fe(c)=12,6803
20	Fe _(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	-
		Fe(c)=17,9058	Fe(c)=17,9058	Fe(c)=17,9058	-
21	Fe _(c) , Ti _(c)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Fe(c)=13,7594 Ti(c)=4,8343	Fe(c)=16,0393 Ti(c)=2,1860	Fe(c)=13,9248 Ti(c)=4,6415	Fe(c)=16,3479 Ti(c)=1,8164
22	Si _(c) , TiSi _(c)	-	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		-	Si(c)=7,9501 TiSi(c)=10,22	Si(c)=18,7212 TiSi(c)=6,2404	Si(c)=6,7386 TiSi(c)=10,67
23	FeSi _(c) , Fe ₃ Si _(c)	-	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		-	FeSi(c)=8,71 Fe ₃ Si(c)=1,38	FeSi(c)=5,74 Fe ₃ Si(c)=2,65	FeSi(c)=7,20 Fe ₃ Si(c)=2,02
24	FeSi _(c) , Fe ₃ Si _(c) , Ti ₅ Si _{3(c)}	-	≤ 13	≤ 12	≤ 13
		-	FeSi(c)=1,82 Fe ₃ Si(c)=0,67 Ti ₅ Si _{3(c)} =2,21	FeSi(c)=0,47 Fe ₃ Si(c)=1,41 Ti ₅ Si _{3(c)} =2,11	FeSi(c)=0,47 Fe ₃ Si(c)=1,19 Ti ₅ Si _{3(c)} =2,37
25	Fe ₃ Si _(c)	-	-	≤ 1	-
		-	-	Fe ₃ Si(c)=2,65	-

Қорытынды

Алынған нәтижелерді талдау барысында зерттелген Fe-Ti-Al-Si металдық жүйесінің негізгі құраушылары болатын Fe-Ti-Al және Fe-Ti-Si үштік жүйелерінің фазалар құрамы мен саны анықталды. 1473-2073K температуралар арасында Fe-Ti-Al жүйесін зерттеу жұмыстарының нәтижесі бойынша жүйенің құрамы орташа 13 фазадан тұрады. Негізінен жүйенің басым бөлігін FeAl_(c), Fe_(c), Ti_(c) фазалары алып жатыр. Келесі Fe-Ti-Si үштік жүйесінің зерттеу нәтижелерінде ауқымды өзгерістер орын алатындығы дәлелденді. Төмен температуралық интервалда 1473K зерттеу жұмыстары кезінде зерттелген жүйені құраушы фазалар саны 21-ге тең болатындығына көз жеткізілді. Температуралық шкала 1673K кезінде Fe-Ti-Si жүйесін құраушы фазалар саны 17-ге төмендеуі байқалды және 1) Fe_(c), Ti₅Si_{3(c)}, 2) Fe₃Si_(c), Fe₅Si_{3(c)}, Ti₅Si_{3(c)}, 3) FeSi_(c), Fe₅Si_{3(c)}, Ti₅Si_{3(c)}, 4) x-FeSi_(c), Ti₅Si_{3(c)} 5) FeSi_(c), 6) FeSi_(c), Fe₅Si_{3(c)}, 7) Fe₃Si_(c), Fe_(c) фазаларының жойылып кететіндіктері дәлелденді. 1) Si_(c), TiSi_(c), 2)

$\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ 3) $\text{FeSi}_{(c)}$, $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$, $\text{Ti}_5\text{Si}_3(c)$ фазалары осы температуралық шкала кезінде жойылған қосылыстардың орнына түзілетіндігі анықталды. Fe-Ti-Si үштік жүйесін 1873K температурасында зерттеу нәтижесінде құраушы фазалар саны 19-ды құрайтындығына көз жеткізілді. 1673K кезіндегі жүйені құраушы фазаларға 1) $\text{FeSi}_{(c)}$, 2) $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ жаңа фазаларының қосылуы мен түзілуі анықталды. Fe-Ti-Si үштік жүйесін 2073K температурасында зерттеу кезінде құраушы фазалар саны 17-ні көрсетеді. 1) $\text{TiSi}_{(c)}$, $\text{Ti}_5\text{Si}_3(c)$, 2) $\text{Fe}_3\text{Si}_{(c)}$ фазалары 2073K температурада жойылатындығы дәлелденді.

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

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Габдуллин Т.Г., Такенов Т.Д., Байсанов С.О., Букетов Е.А. Физико-химические свойства марганцевых шлаков. - Алматы: Наука, 1984. - 232С.
2. Акбердин А.А. Балансовый метод расчета равновесного фазового состава многокомпонентных систем //КИМС. - 1995. - №3. - С. 92-93.
3. Акбердин А.А., Саркенов К.З., Саитов Р.И. Аналитическое описание фазового равновесия в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO-ZnO}$ //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. - 100с.
5. Синяров Г.Б., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г., Моисеев Г.К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. М., 1982. - 260с.
6. Синяров Г.Б., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г., Моисеев Г.К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. М., 1982. - 264с.
7. Г.В. Белов, Б.Г. Трусов. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. - Москва. МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА. - 5с.
8. Г.В. Белов, Б.Г. Трусов. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. - Москва. МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА. - 35с.
9. Диаграмма состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Под ред. О.А. Банных, М.Е.Дрица // М: Металлургия, 1986.
10. Алдияр М.К. Исследование фазовых равновесий в металлической системе на основе Fe-Ti-Si-Al с использованием различных программных комплексов и метода ТДА // Актобе 2020. - 50с.