

А.А. Акбердин<sup>1</sup>, Ю.С. Юсфин<sup>2</sup>, Т.Б. Тойманкулов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева

<sup>2</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## ДИАГРАММА РАВНОВЕСНОГО ФАЗОВОГО СОСТАВА СИСТЕМЫ Fe–Si–Mn–B

**Аннотация.** Построена диаграмма фазового состава четырехкомпонентной металлической системы Fe–Si–Mn–B и создана ее математическая модель. Разработанная на ее основе компьютерная программа позволяет рассчитать вид и количество образующихся в этой системе вторичных фаз при известном химическом составе металла. Приведены примеры расчета фазового состава борсодержащего ферросиликомарганца, а также железа, марганца, кремния, бора с примесными элементами. Диаграмма и компьютерная программа могут быть использованы для формирования ферросплавов с высокой раскислительной и легирующей способностью, а также выбора способов рафинирования металлов от нежелательных примесей.

**Ключевые слова:** диаграмма, фаза, модель, раскисление, легирование, бор.

А.А. Akberdin<sup>1</sup>, Yu.S. Yusfin<sup>2</sup>, T.B. Toymankulov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chemical-Metallurgical Institute. J. Abisheva

<sup>2</sup>National University of Science and Technology “MISIS”

## CHART OF EQUILIBRIUM PHASE COMPOSITION OF Fe–Si–Mn–B

**Abstract.** The study describes the diagram of the four-phase composition of metallic system Fe–Si–Mn–B and establishes its mathematical model. Developed computer software allows to calculate the type and quantity of waste of secondary phases in this system with known chemical composition of the metal. Examples of the calculation of the phase composition of boron-containing ferrosilicon manganese, and iron, manganese, silicon, boron impurity elements are shown. The diagram and computer software may be used to form a high deoxidizing ferroalloys and ability doping and selection methods for refining metals from unwanted impurities.

**Keywords:** diagram, phase model, deoxidation, alloying, boron.

E-MAIL: akberdin.38@mail.ru

Интерес к производству высококачественных борсодержащих сталей побуждает металлургов совершенствовать не только способы использования для легирования традиционно производимого FeB, но разрабатывать новые, комплексные, имеющие ряд преимуществ перед бинарными. К таковым можно отнести ферросиликомарганец с бором (FeSiMnB), присутствие в котором кремния и марганца должно повысить эффект влияния бора на свойства стали и сократить расходы кремнистых и марганцевых ферросплавов.

В настоящей работе предпринята попытка построить диаграмму фазового состава четырехкомпонентной системы Fe–Si–Mn–B и дать математическую модель для оценки вида и количества образующихся в ней вторичных фаз. Это позволит целенаправленно формировать состав ферросплава с высокой раскислительной или легирующей способностью, находить условия рафинирования железа, кремния, марганца, бора, когда указанные компоненты являются примесными в базовом металле.

В графическом изображении четырехкомпонентная система Fe–Si–Mn–B представляет собой тетраэдр, сложенный из четырех трехкомпонентных систем. При их анализе для построения диаграммы производился отбор только конгруэнтно плавящихся соединений.

**Система Fe–Si–Mn** состоит из трех частных бинарных систем: Fe–Si; Fe–Mn и Si–Mn. В первой имеется пять силицидов железа: Fe<sub>3</sub>Si; Fe<sub>2</sub>Si; Fe<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>; FeSi; FeSi<sub>2</sub>, три из которых (Fe<sub>3</sub>Si, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, FeSi<sub>2</sub>) плавятся с разложением и не взяты для построения диаграммы. Во второй двойные соединения отсутствуют, а в третьей имеются четыре силицида марганца: Mn<sub>3</sub>Si; Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>; MnSi; Mn<sub>11</sub>Si<sub>19</sub>, два из которых (Mn<sub>3</sub>Si, Mn<sub>11</sub>Si<sub>19</sub>) плавятся инконгруэнтно. При наличии таких данных, триангуляция тройной системы Fe–Si–Mn с использованием метода термодинамически-диаграммного анализа (ТДА) [1, 2] позволяет разбить ее на пять стабильных треугольников сосуществующих фаз (рис. 1, а).

**Система Fe–Si–B** складывается из трех двойных систем: Fe–Si, имеющиеся в которой силициды железа были перечислены выше; Fe–B, где имеются два би-

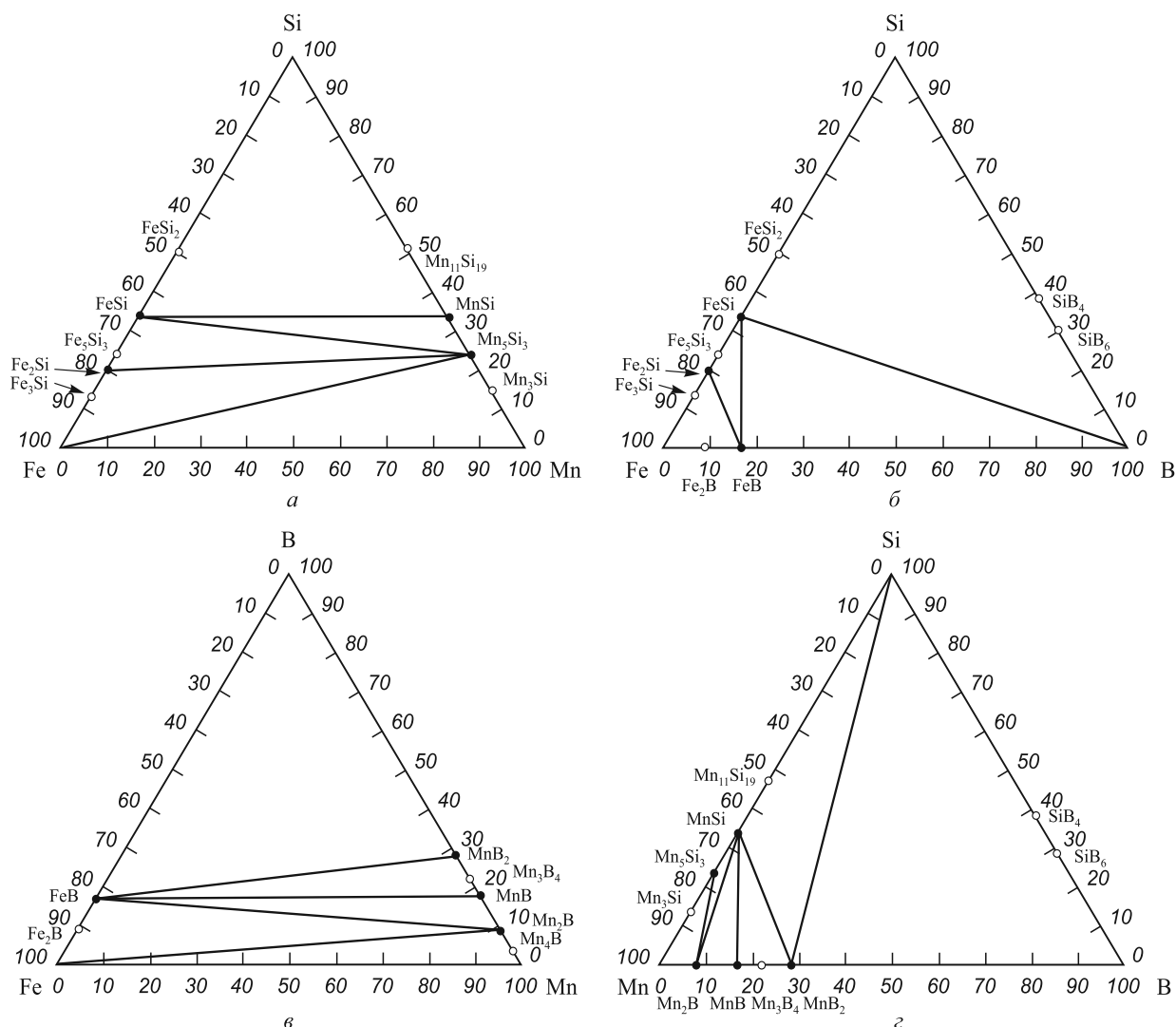


Рис. 1. Фазовые диаграммы частных систем:  
 а – Fe–Si–Mn; б – Fe–Si–B; в – Fe–Mn–B; з – Mn–Si–B

нарных соединения FeB и Fe<sub>2</sub>B, последний из которых плавится инконгруэнтно и не принят для построения диаграммы и Si–B, которая складывается из двух инконгруэнтных соединений SiB<sub>4</sub> и SiB<sub>6</sub> (рис. 1, б).

**Система Fe–Mn–B** состоит из трех двойных систем: Fe–Mn – не имеет бинарных соединений; Fe–B, имеющиеся в которой бориды железа были перечислены выше; Mn–B, где имеются три конгруэнтных (Mn<sub>2</sub>B, MnB, MnB<sub>2</sub>) и два инконгруэнтных соединения (Mn<sub>3</sub>B<sub>4</sub>, MnB<sub>4</sub>). Триангуляция выявила в системе Fe–Mn–B пять термодинамически-устойчивых областей (рис. 1, в).

**Система Mn–Si–B** состоит из трех бинарных систем: Mn–Si, Si–B и Mn–B. Все три двойные системы были описаны выше в трех тройных системах. С использованием метода ТДА эта система разбивается на шесть устойчивых областей (рис. 1, з).

Наличие всех четырех частных трехкомпонентных систем позволяет построить фазовую диаграмму четырехкомпонентной системы Fe–Si–Mn–B

(рис. 2). Она складывается из 13 элементарных тетраэдров сосуществующих фаз:

Fe–Mn–Mn<sub>2</sub>B–Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>; FeSi–Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>–Mn<sub>2</sub>B–MnSi;  
 MnB–MnSi–FeSi–Mn<sub>2</sub>B; MnSi–MnB<sub>2</sub>–FeSi–MnB;  
 FeSi–MnSi–MnB<sub>2</sub>–Si; Fe–Mn<sub>2</sub>B–FeB–Fe<sub>2</sub>Si;  
 FeB–FeSi–Fe<sub>2</sub>Si–Mn<sub>2</sub>B; FeB–MnB<sub>2</sub>–FeSi–B;  
 FeB–MnB–FeSi–MnB<sub>2</sub>; FeB–Mn<sub>2</sub>B–FeSi–MnB;  
 Si–B–MnB<sub>2</sub>–FeSi; Fe<sub>2</sub>Si–Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>–FeSi–Mn<sub>2</sub>B;  
 Fe–Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>–Fe<sub>2</sub>Si–Mn<sub>2</sub>B.

Для каждого из тетраэдров с использованием балансового метода [3] найдены уравнения, связывающие фазовый состав металла с химическим. По полученным зависимостям (алгоритмам) создана компьютерная программа. Порядок расчета сводится к вводу с пульта химического

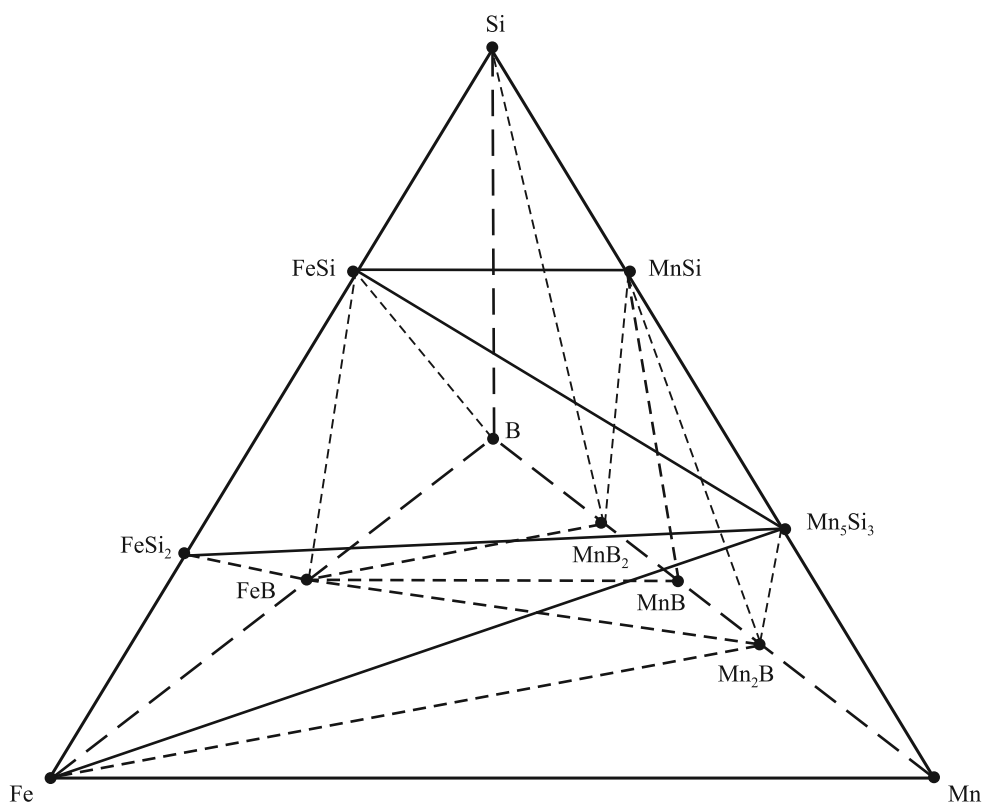


Рис. 2. Фазовая диаграмма системы Fe–Si–Mn–B

**Расчетный фазовый состав сплавов, %**

Номер сплава	Химический				Фазовый			
	Fe	Si	Mn	B	Fe	Mn <sub>5</sub> Si <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> Si	Mn <sub>2</sub> B
1	14,84	19,8	64,36	1	2,377068	70,913608	15,598214	11,111111
	Mn	Fe	Si	B	Mn	Fe	Mn <sub>2</sub> B	Mn <sub>5</sub> Si <sub>3</sub>
2	99,9995	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	3·10 <sup>-4</sup>	99,99614	0,0001	0,003333	0,000427
	Si	Fe	Mn	B	Si	B	MnB <sub>2</sub>	FeSi
3	99,99995	2·10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-5</sup>	99,99994	1,61·10 <sup>-5</sup>	1,39·10 <sup>-5</sup>	3,00·10 <sup>-5</sup>
	B	Fe	Si	Mn	B	FeB	MnB <sub>2</sub>	FeSi
4	99,3	0,1	0,4	0,2	99,78022	0,000891	0,069638	0,149251

состава сплава. Компьютер находит элементарный тетраэдр, в котором находится сплав, и автоматически выдает его фазовый состав в массовых процентах.

В таблице в качестве примера приведены результаты расчета фазового состава некоторых сплавов с использованием созданной компьютерной программы.

Первый из них – выплавляемый на заводах ферросиликомарганец, куда введен 1 % В. В качестве фазовых составляющих в нем присутствуют железо и силициды марганца и железа (Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>Si), а бор связан с марганцем в виде борида марганца (Mn<sub>2</sub>B).

Второй, третий и четвертый сплавы представляют собой металлический марганец, а так же кристаллические кремний и бор, где остальные элементы присутствуют в виде примесей.

Представляется, что знание форм и количества образующихся в сплавах фаз может служить ориентиром для производства ферросплавов с высокой раскислительной и легирующей способностью, а также подбора способов очистки металлов от нежелательных примесей.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Процюк А.П., Карапетьянц М.Х. // ЖПХ. 1977. Т. 50. Вып. 1. С. 169.
2. Бережной А.С. Многокомпонентные системы окислов. – Киев: Наукова думка, 1970. – 544 с.
3. Акбердин А.А. //КИМС. 1995. № 3. С. 92 – 93.