

Как видно из таблиц, применение модификаторов с барием и стронцием позволяет получать качественную микроструктуру, гарантирующую получение марок синтетического чугуна СЧ20 и СЧ25 ГОСТ1412-85. Таким образом, полученные результаты позволяют считать, что данная технология является более эффективной, чем технология модифицирования чугуна, получаемого на основе традиционных шихтовых материалов. Эта эффективность обусловлена, в первую очередь, тем, что модифицируемый чугун не имеет неконтролируемых примесей, вносимых обычно с шихтой литейными и передельными чугунами.

## 5. Выводы.

На основе полученных результатов исследования микроструктуры синтетического чугуна индукционной плавки можно рекомендовать следующие технологические режимы. Обработку расплава модификаторами ФС65Ba4, ФС65BaKСт2 проводить в ковше фракцией 1-10 мм в количестве 0.3% от массы жидкого металла (3 кг на 1 т) после заполнения ковша на 100-150 мм или «чипс-технологией».

*Поступила в редколлегию 30.04.2008*

**УДК 621.74**

**НЕКРАСОВ А.Г., ДЁМИН Д.А.**, канд. техн. наук

## **ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ, СОСТАВА И СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОГО ЧУГУНА, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ОТЛИВОК АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ**

**В статье описаны результаты исследований микроструктуры, химического состава и свойств чугуна промышленных плавов. Результаты данных исследований позволяют выявить фактический химический состав базового чугуна для разработки дальнейших технологических процессов модифицирования чугуна недефицитными эффективными модификаторами.**

### **1. Введение**

Исследуемый чугун марок СЧ20, СЧ25 ГОСТ1412-85 предназначен для изготовления отливок автомобилестроения. Для обеспечения заданного комплекса свойств он модифицируется ферросплавами на железо-кремниевой основе: ферросилицием, смесью ферросилиция и сажи, ФС65BaKСт2, ФС65Ba4, лигатурой РЗМ. Применение этих типов модификаторов обусловлено необходимостью снижения склонности чугуна к отбелу при кристаллизации расплава и получения предела прочности на растяжение чугуна 200-300 МПа, твердости HB170-241. Согласно литературным данным, эти типы модификаторов обеспечивают удовлетворительное качество чугуна по отдельным показателям микроструктуры и свойств. Для обеспечения стабильного качества чугуна по комплексу показателей структуры и свойств необходим дифференцированный статистический анализ влияния каждого из этих модификаторов на показатели микроструктуры, с учетом химического состава чугуна, подвергаемого модифицированию, и определение оптимальной комбинации элементов в модификаторах. Эти комбинации элементов позволяют выбрать перспективные и доступные ферросплавы-модификаторы,

снижающие до минимума склонность расплава к образованию отбела при кристаллизации.

## 2. Постановка задачи

На первом этапе исследований базовым выбран чугун, модифицированный ферросилицием. Такой выбор обусловлен тем, что данный тип модификатора наиболее распространен в практике модифицирования, однако в конкретных производственных условиях далеко не всегда удается установить эффективность его влияния на состав и свойства чугуна. Кроме того, полученные результаты могут служить «эталоном» для сравнения эффективностей модифицирования чугуна другими материалами.

## 3. Методика исследований и полученные результаты

Для определения эффективности модифицирования рассчитаны значения выборочных статистических функций – оценки математического ожидания и оценки дисперсии. На основании этих результатов построены гистограммы распределения каждого из анализируемых параметров микроструктуры и химического состава чугуна, и определены доверительные интервалы для этих параметров.

Статистический анализ проведен на ЭВМ с помощью редактора электронных таблиц EXCEL, основные статистические характеристики, примененные в исследовании, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические характеристики для оценки эффективности модификаторов, применяемых при изготовлении чугунов марок СЧ20, СЧ25 ГОСТ1412-85.

Статистическая характеристика	Математическое описание	Обозначения
Математическое ожидание $\bar{X}$	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$	$X_i$ -текущее значение содержания элемента химического состава или характеристики микроструктуры $N$ – общее количество значений в выборке производственных данных
Дисперсия $S^2$	$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$	-
Среднеквадратичное отклонение	$S = \sqrt{S^2}$	-
Доверительный интервал*	$I = \left( \bar{X} - \frac{eS}{\sqrt{N}}; \bar{X} + \frac{eS}{\sqrt{N}} \right)$	$I$ - граница доверительного интервала $e$ - квантиль нормального распределения
* - Доверительный интервал – это интервал, в котором с наибольшей вероятностью находится действительное значение характеристики микроструктуры или содержания элемента химического состава чугуна.		

Химический состав чугуна, модифицированного ферросилицием, и рассчитанные статистические характеристики приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав чугуна, модифицированного ферросилицием

Номер образца	Содержание элементов химсостава, %									
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti	Cu	V
1	3,44	2,29	0,75	0,11	0,083	0,14	0,14	0,024	0,18	0,01
2	3,51	2,4	0,77	0,121	0,076	0,26	0,1	0,024	0,16	0,01
3	3,43	2,1	0,7	0,108	0,083	0,34	0,14	0,037	0,38	0,02
4	3,36	2,28	0,71	0,11	0,086	0,32	0,14	0,038	0,37	0,02
5	3,35	2,33	0,63	0,101	0,086	0,22	0,14	0,027	0,28	0,025
6	3,37	2,51	0,74	0,098	0,086	0,25	0,13	0,028	0,27	0,023
7	3,58	2,32	0,54	0,12	0,072	0,35	0,15	0,025	0,25	0,02
8	3,6	2,38	0,86	0,119	0,066	0,29	0,13	0,025	0,18	0,024
9	3,58	2,39	0,74	0,12	0,075	0,14	0,11	0,031	0,14	0,037
10	3,64	2,36	0,74	0,105	0,066	0,14	0,11	0,028	0,12	0,036
<b>Среднее</b>	<b>3,486</b>	<b>2,336</b>	<b>0,718</b>	<b>0,1112</b>	<b>0,0779</b>	<b>0,245</b>	<b>0,129</b>	<b>0,0287</b>	<b>0,233</b>	<b>0,0225</b>
<b>СКО</b>	<b>0,109</b>	<b>0,1059</b>	<b>0,085</b>	<b>0,0084</b>	<b>0,0080</b>	<b>0,082</b>	<b>0,016</b>	<b>0,0051</b>	<b>0,092</b>	<b>0,0090</b>

На рис.1-2 представлены гистограммы распределения содержания элементов химсостава чугуна.



Рис. 1. Гистограмма распределения содержания углерода, марганца, кремния и серы в базовом чугуне, обработанном ферросилицием ФС-75

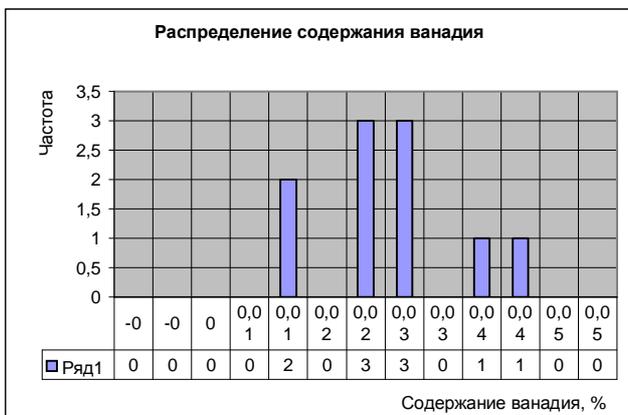
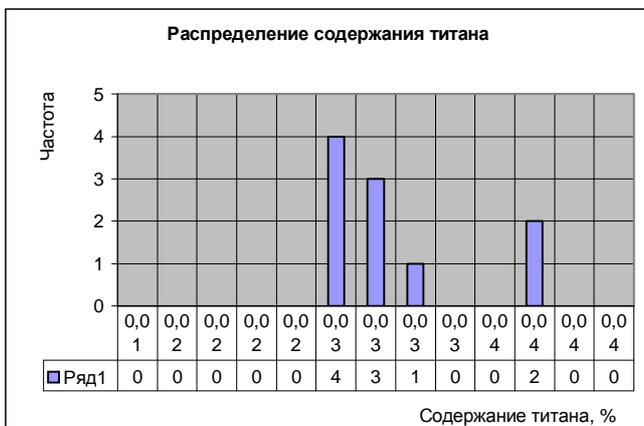
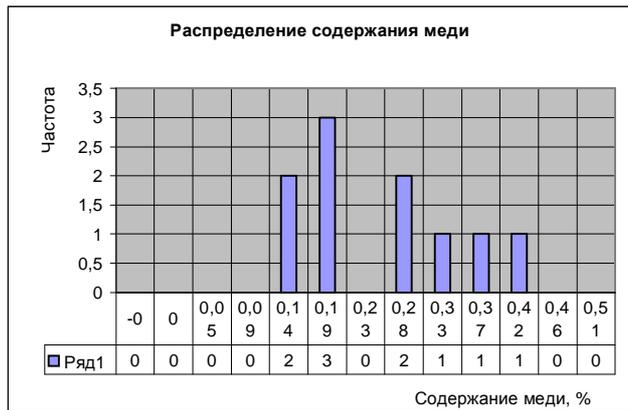
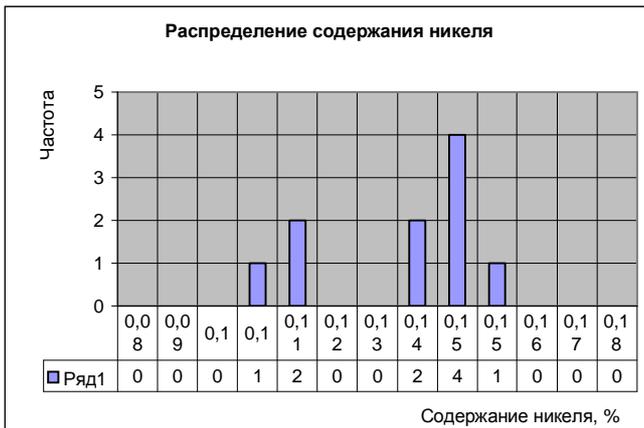
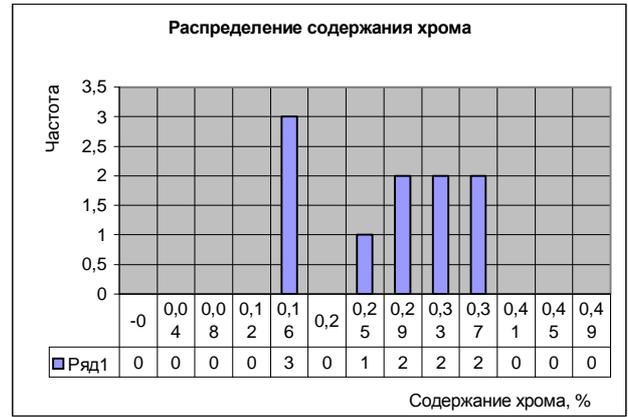
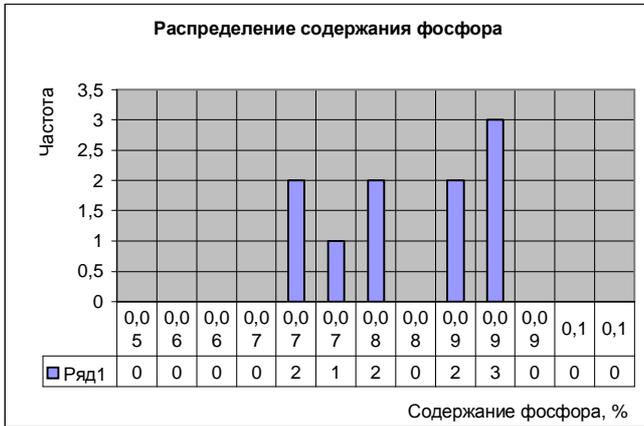


Рис. 2. Гистограмма распределения содержания фосфора, хрома, никеля, титана, меди и ванадия в базовом чугуна, обработанном ферросилицием ФС-75

В таблице 2 представлены характеристики микроструктуры чугуна.

На рис.3 представлены гистограммы распределения характеристик микроструктуры чугуна, рассчитанные статистические характеристики приведены в таблице 2.

Из таблицы 3 видно, что для всех рассчитанных характеристик микроструктуры характерно большое значение среднеквадратичного отклонения (СКО), что может свидетельствовать о сильно «размазанной» кривой нормального распределения. Учитывая, что распределение каждой из характеристик микроструктуры должно описываться кривой нормального распределения, указанный факт свидетельствует о наличии для каждой характеристики двух (или более) кривых, смещенных друг

относительно друга. Следовательно, на гистограммах должно наблюдаться два (или более) пика. Следовательно, исходная выборка, представленная в таблице 2, распадается на две (или более) выборки, на основании которых можно будет судить об эффективности модифицирования ферросилицием.

Таблица 2 – Микроструктура чугуна, модифицированного ферросилицием

Номер образца	Металлическая основа		Графит			
	Содержание перлита, %	Дисперсность перлита	Форма включений	Распределение включений	Размер включений, мкм	Количество включений, %
1	П70, П92	С+ПД1,4	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд15-25-45	ПГ6
2	П80, П	С+ПД1,0	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд 25-45-90	ПГ6
3	П	С+ПД1,4	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд15-25-45	ПГ6
4	П	С+ПД1,0	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд15-25-45	ПГ6
5	П85, П98	С+ПД1,4	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд15-25-45	ПГ6
6	П70, П	С+ПД1,4	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд15-25-45	ПГ6
7	П85, П	С+ПД1,4	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд15-25-45-90	ПГ10
8	П	С+ПД1,0	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд15-45-90	ПГ6
9	П70, П96	С+ПД1,0	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд 25-45-90	ПГ6
10	П70, П96	С+ПД1,4	ПГф2	ПГр9, ПГр1	ПГд 25-45-90	ПГ10

Таблица 3 - Статистические характеристики микроструктуры.

Характеристика микроструктуры	Количество перлита, %	Дисперсность перлита	Размер включений графита, мкм	Количество включений графита, %
Среднее	87,1	1,24	35,9	6,8
СКО	12,40076	0,20105	12,11306	1,641565

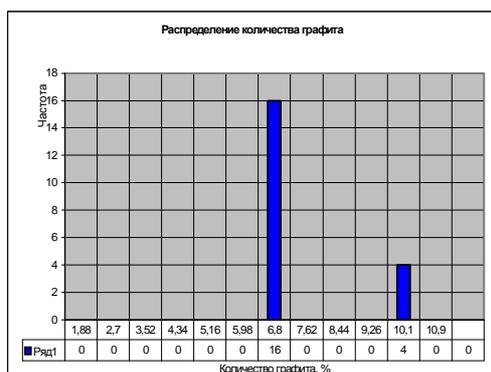


Рисунок 3. Характеристики микроструктуры чугуна, модифицированного ФС75

### **Выводы.**

Учитывая, что ферросилиций является классическим модификатором, результаты анализа составов и структур чугунов, обработанных другими ферросплавами, могут «приводиться» к результатам, полученным для ферросилиция.

Адекватность полученные результатов исследований подтверждается тем, что все расчеты и выводы строились на выборке реальных производственных данных, полученных в условиях работы литейного цеха.

*Поступила в редколлегию 30.04.2008*