

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Владимирский государственный университет
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА И СТАЛИ

Методические указания к практическим занятиям

В двух частях

Часть 1

Составитель
И.К. КАЛЛИОПИН

«В печать»:

Автор –	И.К. Каллиопин
Зав. кафедрой –	В.А. Кечин
Редактор –	И.А. Арефьева
Корректор –	В.В. Гурова
Начальник РИО –	Е.П. Викулова
Директор РИК –	Ю.К. Жулев
Проректор ВлГУ по ИТ –	В.А. Немонтов

Владимир 2005

УДК 621.74.002.6 (075)

ББК 34.61 я7

П80

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент

Владимирского государственного университета

Ю.Д. Корогодов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Производство отливок из чугуна и стали : метод. указания к
П80 практ. занятиям : в 2 ч. / сост. И.К. Каллиоппин ; Владим. гос. ун-т. –
Владимир : Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2005. – Ч. 1. – 38 с.

Изложено содержание, приведены порядок выполнения и варианты практических занятий по дисциплине «Производство отливок из чугуна и стали». Соответствуют требованиям ГОС СД.04.

Предназначены для студентов специальности 110400 – литейное производство черных и цветных металлов.

Табл. 6. Ил. 4 . Библиогр.: 6 назв.

УДК 621.74.002.6 (075)

ББК 34.61 я7

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Практические занятия по дисциплине «Производство отливок из чугуна и стали» проводятся в соответствии с учебным планом, утвержденным в 2001 году для студентов специальности 110400 – «Литейное производство черных и цветных металлов». На занятиях студенты закрепляют теоретические знания, полученные на лекциях, углубляют и детализируют навыки по ряду вопросов, которые невозможно рассмотреть на лекциях. В этом смысле практические занятия наряду с лекциями и лабораторными работами являются неотъемлемой частью процесса освоения дисциплины.

Более 80 % всех отливок изготавливают из чугуна и стали, поэтому изучению этой дисциплины должно быть уделено большее внимание, т.к. вероятность того, что выпускники вуза в своей будущей практической деятельности столкнутся с этими сплавами, максимальна.

Каждая из практических работ имеет достаточное количество равноценных вариантов заданий, предназначенных для индивидуального выполнения работ и расчетов. Именно индивидуальное выполнение задания подталкивает студента к самостоятельному изучению поставленного вопроса, что, в отличие от коллективного изучения (лекции), способствует более прочному усвоению материала. Время выполнения работ может превышать 2 часа, что предполагает не только работу в аудитории, но и самостоятельную работу дома. Возможно использование основной и дополнительной литературы, содержащей сведения, выходящие за рамки настоящих методических указаний.

При выполнении практических работ необходимо применять знания, полученные при изучении других дисциплин: «Материаловедение», «Шихтовые материалы», «Теория литейных процессов», «Печи и плавка», «Литейные сплавы», «Технология литейного производства» и др.

Каждая из практических работ должна быть надлежащим образом аккуратно оформлена в виде отчета и индивидуально защищена у преподавателя. По результатам выполнения практических и лабораторных занятий предусмотрен официальный зачет до проведения экзамена по дисциплине.

Практическая работа № 1

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО – УГЛЕРОД

Задание

1. Вычертить эскиз диаграммы состояния железо – цементит самостоятельно по памяти, без использования литературы, наглядных пособий и сведений, полученных от других студентов. Через 15 минут после получения данного задания результаты сдать преподавателю (этот лист с подписью преподавателя включается в отчет по работе).

2. Вычертить эскиз диаграммы состояния железо – цементит, используя литературные источники, наглядные пособия (см. рисунок приложения).

3. Нанести на диаграмму состояния линии фазового равновесия стабильной диаграммы железо – графит. Провести анализ различий стабильной и метастабильной диаграмм.

4. Для заданных сплавов (см. свой вариант) вычертить кривые охлаждения, для каждого интервала времени и температур рассчитать число степеней свободы, обозначить все фазы и структурные составляющие и схематично изобразить структуры сплавов во всех диапазонах.

5. Для заданных сплавов и температур определить количество фаз и структурных составляющих по правилу отрезков.

Варианты заданий

Вариант	Сталь		Чугун	
	Содержание углерода, %	Температура, °С	Содержание углерода, %	Температура, °С
1	0,15	1520	2,5	1140
2	0,20	1510	2,6	1130
3	0,20	800	2,7	1120
4	0,25	790	2,8	1115
5	0,30	780	2,9	1110
6	0,35	770	3,0	1105
7	0,40	760	3,1	1100
8	0,45	750	3,2	1090
9	0,5	740	3,3	1080
10	0,55	730	3,4	1070
11	0,45	1505	3,5	1060
12	0,40	1510	3,6	1050
13	0,35	1515	3,7	1040
14	0,30	1520	3,8	1030
15	0,25	1490	3,9	1020

Окончание таблицы

Вариант	Сталь		Чугун	
	Содержание углерода, %	Температура, °С	Содержание углерода, %	Температура, °С
16	0,30	1480	4,0	1010
17	0,35	1470	4,1	1000
18	0,40	1460	4,2	990
19	0,60	1480	4,3	980
20	0,70	1470	4,4	970
21	0,80	1460	4,5	960
22	0,85	730	4,4	950
23	0,90	740	4,3	940
24	0,95	750	4,2	930
25	1,00	760	4,1	920
26	1,10	770	4,0	910
27	1,15	780	3,9	900
28	1,20	790	3,8	890
29	1,25	800	3,7	880
30	1,30	810	3,6	870

Контрольные вопросы

1. Что такое фаза?
2. Какие фазы присутствуют на диаграмме железо – цементит?
3. Какие фазы имеются на стабильной диаграмме железо – графит?
4. Что такое структурная составляющая?
5. Какие структурные составляющие имеются в системе железо – цементит?
6. Какие структурные составляющие характерны для стабильной системы желез – углерод?
7. Что такое перлит?
8. Что такое феррит?
9. Что такое цементит?
10. Что такое аустенит?
11. Что такое ледебурит?
12. При каких температурах образуются:
 - а) цементит первичный;
 - б) цементит вторичный;
 - в) цементит третичный.
13. Что такое эвтектика?
14. Что такое эвтектоид?
15. Что такое перитектика?

Практическая работа № 2

СТРУКТУРНАЯ ДИАГРАММА ЧУГУНА

Формирование структуры и свойств в реальных отливках зависит от множества факторов, не учитываемых равновесными диаграммами состояния. Для того чтобы иметь возможность, задаваясь исходными параметрами, обеспечить получение в чугуновых отливках заданной структуры и, как следствие, определенных механических свойств, строятся специальные структурные диаграммы.

Структуру чугуновых отливок в зависимости от содержания углерода и кремния примерно можно оценить по диаграмме Маурера (рис. 1). Эта диаграмма удовлетворительно согласуется с экспериментальными и производственными данными при содержании углерода 2,9 – 3,4 % и кремния 1,8 – 3,2 %.

С целью учета влияния скорости затвердевания отливок используют диаграммы Грейнера – Клингенштейна (см. рис. 1) и Какурина (рис. 2), где на одной из осей отложена толщина стенки отливки T , на другой – сумма углерода и кремния ($C + Si$). Толщина стенки отливки при этом является фактором, определяющим скорость затвердевания и охлаждения отливки в форме.

Во многих структурных диаграммах широко используется параметр S_c – степень насыщенности, который несколько по-другому учитывает влияние кремния.

$$S_c = \frac{C}{4,3 - nSi},$$

где $n \sim 0,3$ – при анализе влияния химического состава на механические свойства;

$n \sim 0,1$ – при анализе влияния химического состава на структуру.

На рис. 3 изображена структурная диаграмма Зиппа (с видоизменением Шмита – на рис. 4), которая уточняет влияние технологии литья и материала литейной формы на структуру и механические свойства чугуна.

Задание

1. По рис. 4 определить требуемую структуру чугуна и его степень насыщенности S_c .

2. Используя рис. 1 – 3, подобрать химический состав по C и Si (ре-

шается система двух уравнений с двумя неизвестными). В уравнении $S_c = C/4,3 - nSi$: значение n примите 0,3 и 1,0 и сравните результаты.

3. Проверить химический состав чугуна по ГОСТ 1412-85.

4. Проанализировать результат и для заданной марки чугуна и толщины стенки предложить более рациональную технологию изготовления отливок и химический состав.

Варианты заданий

Вариант	Марка чугуна	Толщина стенки, мм	Материал литейной формы
1	СЧ15	10	Сырая песчано-глинистая форма
2	СЧ20	15	Форма на масляных связующих
3	СЧ25	20	Нагретый кокиль
4	СЧ30	25	Холодный кокиль
5	СЧ30	30	Водоохлаждаемый кокиль
6	СЧ25	15	Нагретый кокиль
7	СЧ20	30	Форма на масляных связующих
8	СЧ15	25	Холодный кокиль
9	СЧ20	20	Сырая песчано-глинистая форма
10	СЧ15	30	Сухая холодная форма
11	СЧ25	25	Холодный кокиль
12	СЧ30	10	Сухая нагретая форма
13	СЧ25	15	Сухая холодная форма
14	СЧ20	20	Форма на масляных связующих
15	СЧ15	30	Сухая нагретая форма
16	СЧ30	15	Нагретый кокиль
17	СЧ15	20	Сырая песчано-глинистая форма
18	СЧ20	10	Сухая холодная форма
19	СЧ25	30	Водоохлаждаемый кокиль
20	СЧ30	15	Холодный кокиль
21	СЧ15	10	Сухая нагретая форма
22	СЧ20	40	Водоохлаждаемый кокиль
23	СЧ25	40	Холодный кокиль
24	СЧ30	20	Нагретый кокиль
25	СЧ25	15	Форма на масляных связующих
26	СЧ20	40	Нагретый кокиль
27	СЧ15	45	Холодный кокиль
28	СЧ20	50	Сухая нагретая форма
29	СЧ25	60	Сырая песчано-глинистая форма
30	СЧ30	45	Нагретый кокиль

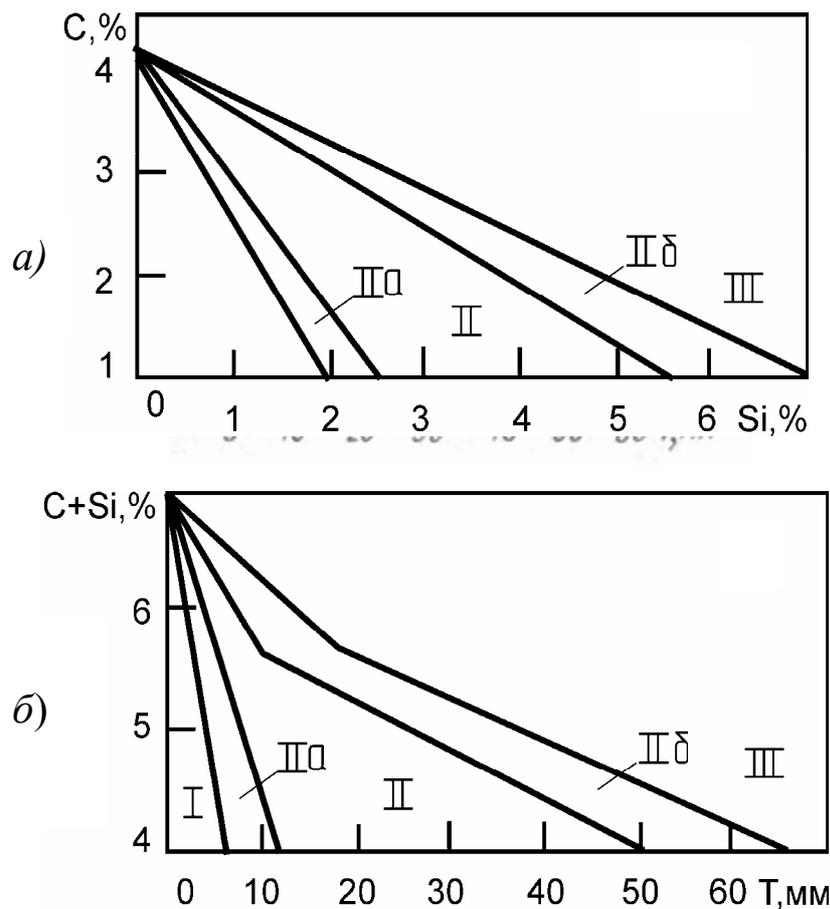


Рис. 1. Структурные диаграммы Маурера (а) и Грейнера – Клингенштейна (б):
 I – область белых чугунов; IIa – половинчатых; II – перлитных серых; IIδ – перлитно-ферритных серых; III – ферритных серых

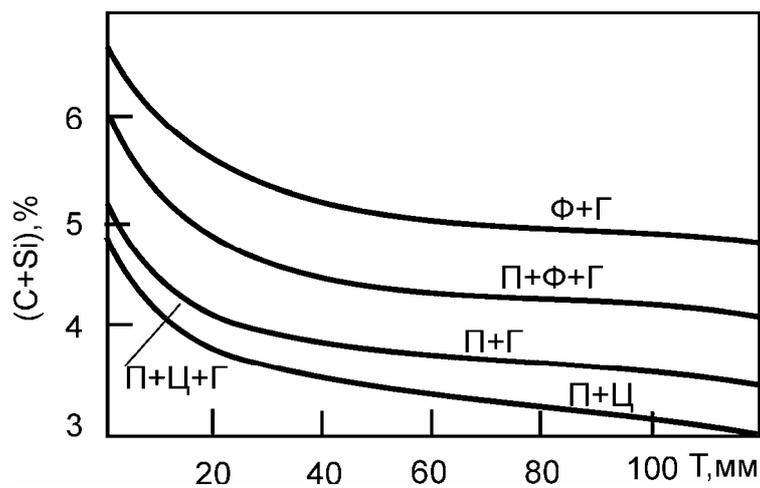


Рис. 2. Структурная диаграмма Л. И. Какурина

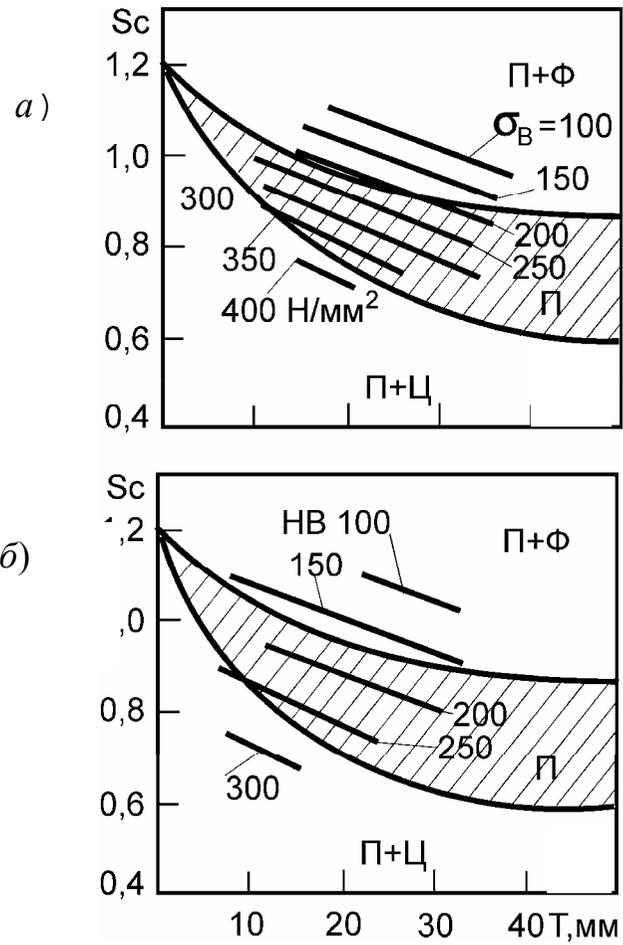


Рис. 3. Структурные диаграммы Зиппа предела прочности σ_B (а) и твердости HB (б)

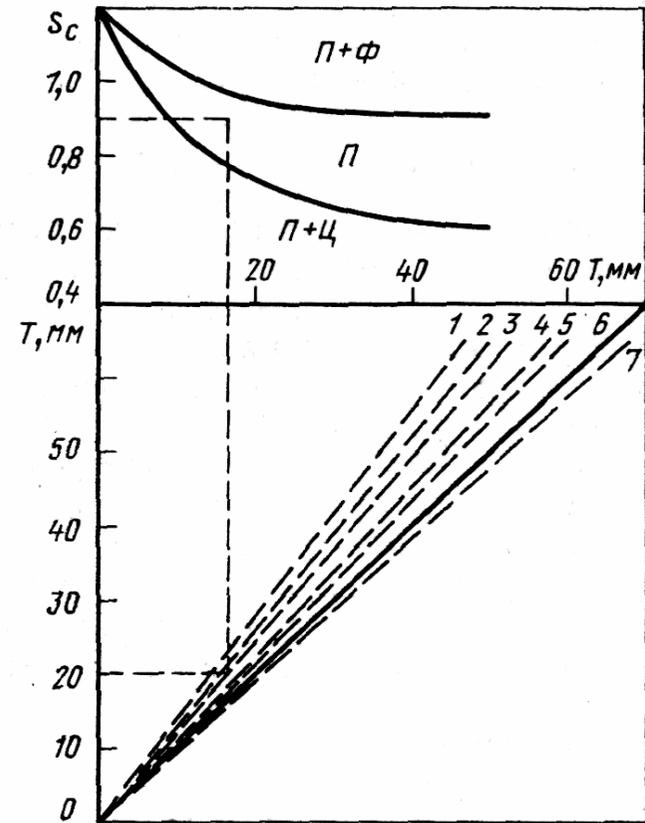


Рис. 4. Структурная диаграмма Зиппа, видоизмененная Шмиттом

- 1 – литье в водоохлаждаемые кокили;
- 2 – в холодные кокили;
- 3 – в нагретые кокили;
- 4 – в формы на масляных связующих;
- 5 – в сырые песчано-глинистые формы;
- 6 – в холодные сухие формы;
- 7 – в нагретые сухие формы

Контрольные вопросы

1. Каким образом содержание углерода влияет на структуру чугуна?
2. Каким образом содержание кремния влияет на структуру чугуна?
3. Какие параметры структуры влияют на механические свойства чугуна?
4. Каким образом скорость затвердевания влияет на структуру?
5. Что такое степень насыщенности?
6. Каким образом структурные диаграммы учитывают графитизацию чугуна?
7. Каким образом технология литья влияет на структуру чугуна?
8. Каким образом структура чугуна связана со свойствами?
9. Почему материал литейной формы влияет на структуру чугуна?
10. Каким образом устранить отбел в отливках?

Практическая работа № 3

ОТЛИВКИ ИЗ ЧУГУНА С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ГРАФИТА ПО ГОСТ 3443-87

Зависимость механических и эксплуатационных свойств от структуры в чугунах проявляется наиболее ярко. Поэтому исследованию и описанию микроструктуры чугунов уделяется особое внимание. Кроме этого одинаковые структуры и, следовательно, свойства могут быть получены при различных химических составах, и, наоборот, при одном и том же химическом составе могут появиться различные структуры и свойства в чугунных отливках.

Оценка структуры чугунов производится по ГОСТ 3443-87, который распространяется на отливки чугунов конструкционного назначения: серого чугуна с пластинчатым графитом, чугуна с вермикулярным графитом, высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и ковкого чугуна с компактным графитом. Структуру чугуна определяют по графиту на нетравленных шлифах и по металлической основе на шлифах после травления. Оценка структуры чугуна производится визуально сопоставлением структуры, видимой в микроскопе, со структурой эталона соответствующей шкалы.

Определение включений графита:

чугун с пластинчатым графитом обозначается ПГ (шкала 1),

чугун с вермикулярным графитом – ВГ (шкала 2),

чугун с шаровидным графитом – ШГ (шкала 3),

чугун с компактным графитом – КГ (шкала 4).

Форму включений пластинчатого графита (шкала 1А) различают: ПГф1 – пластинчатая прямолинейная, ПГф2 – пластинчатая завихренная, ПГф3 – игольчатая, ПГф4 – гнездообразная.

Длину включений пластинчатого графита (шкала 1Б) относят к одному из эталонов: ПГд15, ПГд25, ПГд45, ПГд90, ПГд180, ПГд350, ПГд750 и ПГд1000, где цифра означает среднюю длину включений пластинчатого графита в микрометрах, определенную по трем наибольшим включениям, измеренным не менее чем в трех полях зрения.

Распределение включений пластинчатого графита (шкала 1В) оценивают как: ПГр1 – равномерное, ПГр2 – неравномерное, ПГр3 – колонии пластинчатого графита, ПГр4 – колонии междендритного графита, ПГр5 – веточное, ПГр6 – сетчатое, ПГр7 – розеточное, ПГр8 – междендритное точечное, ПГр9 – междендритное пластинчатое.

Количество включений пластинчатого графита (шкала 1Г) оценивают: ПГ2, ПГ4, ПГ6, ПГ10, ПГ12, где цифры означают площадь, занятую графитом, в площади шлифа, %.

Форма включений вермикулярного графита (шкала 2А) определяется: ВГф1 – узелковая, ВГф2 – извилистая, ВГф3 – утолщенная.

Распределение вермикулярного графита (шкала 2Б) оценивают как: ВГр1 – равномерное, ВГр2 – неравномерное, ВГр3 – розеточное, ВГр4 – колонии разветвленные, ВГр5 – колонии изолированные.

Количество вермикулярного графита в процентах в структуре чугуна (шкала 2В) оценивают: ВГ100 – 0 %, шаровидного графита, ВГ98 – до 5 % шаровидного графита, ВГ92 – 5 – 10 % шаровидного графита, ВГ85 – 10 – 20 % шаровидного графита, ВГ70 – 20 – 40 % шаровидного графита (по площади в поле шлифа).

Форму включений шаровидного графита (шкала 3А) различают: ШГф1 – разорванная, ШГф2 – звездообразная, ШГф3 – компактная, ШГф4 – шаровидная неправильная, ШГф5 – шаровидная правильная.

Диаметр включений шаровидного графита (шкала 3Б) оценивают ШГд15, ШГд25, ШГд45, ШГд90, ШГд180, ШГд360, где цифры означают

средний диаметр трех наибольших включений на микрошлифе (мкм), измеренных не менее чем в трех полях зрения.

Распределение включений шаровидного графита (шкала 3В) оценивают: ШГр1 – равномерное, ШГр2 – неравномерное, ШГр3 – строчечное, ШГр4 – скопление мелких включений.

Количество включений шаровидного графита (шкала 3Г) определяют: ШГ2 – до 3 %; ШГ4 – 3 – 5 %; ШГ6 – 5 – 8 %; ШГ10 – 8 – 12 %; ШГ12 – более 12 % от площади шлифа, занятой графитом.

Форму включений графита в ковких чугунах (шкала 4А) оценивают: КГф1 – нитевидная, КГф2 – хлопьевидная, КГф3 – компактная.

Диаметр включений компактного графита (шкала 4Б) определяют: КГд15, КГд25, КГд45, КГд90, КГд180, КГд360, где цифры означают средний диаметр включений компактного графита, мкм.

Определение металлической основы.

Тип структуры металлической основы (шкала 5) подразделяют: Ф – феррит, Пт1 – перлит пластинчатый, Пт2 – перлит зернистый, Т – троостит, Б – бейнит, М – мартенсит.

Количество перлита или феррита в процентах (перлит + феррит = 100 %) в структуре чугуна (шкала 6) оценивается: для крупных и средних отливок из чугуна с пластинчатым графитом – ряд 1, для тонкостенных отливок из чугуна с пластинчатым графитом – ряд 2, для отливок из чугуна с вермикулярным графитом – ряд 3, для отливок из чугуна с шаровидным графитом – ряд 4, для ковкого чугуна – ряд 5. Количество перлита оценивается средним процентом площади, занятой соответствующей структурной составляющей, определенной не менее чем в 3 полях зрения: П(ФО) - > 98 %, П96(Ф4) – 94 – 98 %, П92(Ф8) – 90 – 94 %, П85(Ф15) – 80 – 90 %, П70(Ф30) – 60 – 80 %, П45(Ф55) – 30 – 60 %, П20(Ф80) – 10 – 30 %, П6(Ф94) – 2 – 10 %, ПО(Ф) - < 2 %.

Вид краевой зоны в образцах из ковкого чугуна определяется по шкале 7: Кр1 – феррит и окалина, Кр2 – феррит и перлитная кайма, Кр3 – обезуглероженный слой, феррит и перлит, Кр4 – обезуглероженный слой и перлит.

Степень дисперсности пластинчатого перлита (шкала 8) определяется: ПД0,3; ПД0,5; ПД1,0; ПД1,4; ПД1,6, где цифры характеризуют среднее расстояние между пластинками цементита в перлите, мкм.

Фосфидная эвтектика в структуре чугунов представлена рядом 1 и рядом 2, различающимися друг от друга режимами травления.

Строение включений фосфидной эвтектики (шкала 9А):

- ФЭ1 – псевдодвойная фосфид и феррит,
- ФЭ2 – псевдодвойная фосфид и цементит,
- ФЭ3 – тройная мелкозернистая,
- ФЭ4 – тройная игольчатая,
- ФЭ5 – тройная с пластинами цементита.

Характер распределения фосфидной эвтектики (шкала 9Б) оценивают: ФЭр1 – равномерное, ФЭр2 – разорванная сетка, ФЭр3 – сплошная сетка.

Диаметр ячеек сетки фосфидной эвтектики (шкала 9В) определяется средним диаметром из трех наибольших ячеек, мкм: ФЭд250 - < 250 мкм, ФЭд400 – 250 – 500 мкм, ФЭд650 – 500 – 750 мкм, ФЭд1000 – 750 – 1250 мкм, ФЭд1250 - > 1250 мкм.

Диаметр изолированных включений фосфидной эвтектики (шкала 9Г) определяется средней площадью трех наибольших включений, мкм²: ФЭп2000, ФЭп6000, ФЭп13000, ФЭп20000, ФЭп25000.

Количество цементита (шкала 10А) оценивается по площади, занятой цементитом или цементитом ледебурита, %: Ц2, Ц4, Ц10, Ц25, Ц40.

Размер изолированных включений цементита (шкала 10Б) определяют по средней площади трех наибольших включений, мкм²: Цп2000, Цп6000, Цп13000, Цп20000, Цп25000.

Выполнение практической работы

Работа проводится в аудитории, оборудованной металлографическими микроскопами, а также должны быть наборы микрошлифов различных марок чугунов, имеющих различные структуры. В качестве индивидуального задания студенту выдают несколько микрошлифов, приложение № 3 к ГОСТ 3443-87. После изучения микроструктуры студент проводит полное ее описание, которое сдает преподавателю. Наиболее типичные особенности микроструктуры зарисовывают в эскизном порядке и приводят в отчете.

Контрольные вопросы

1. Для чего подробно исследуют микроструктуры чугунов?
2. Какая из форм графита (ПГ, ВГ, ШГ, КГ) дает более высокие механические свойства? Почему?

3. Какая из форм пластинчатого графита способствует получению более высокой марки чугуна?
4. Каким образом механические свойства зависят от параметра ПГд?
5. Почему исследуют распределение ПГр? Какой из параметров благоприятен для увеличения механических свойств?
6. Как параметр ПГ2...ПГ12 влияет на свойства чугуна?
7. Каково влияние формы вермикулярного графита на свойства чугуна?
8. Как распределение ВГр влияет на свойства чугуна?
9. Объясните влияние формы включений шаровидного графита на свойства чугуна.
10. Как изменятся свойства высокопрочного чугуна при изменении ШГд25 до ШГд180?
11. Расскажите о влиянии распределения ШГр1... ШГр4 на свойства чугуна в отливках.
12. Каким образом количество включений ШГ2...ШГ12 влияет на усадку чугуна в отливках?
13. Каким образом получают в отливках компактные включения графита?
14. Дайте характеристику типам металлической основы: Ф, Пт1, Пт2, Т, Б, М.
15. Как изменяются свойства чугуна при изменении показателя от П к ПО?
16. Опишите влияние параметра ПД на свойства чугуна.
17. Какое различие по влиянию на свойства чугуна оказывают эвтектики ФЭ3 и ФЭ4?
18. Как называется чугун, в котором Ц25, Ц40?

Практическая работа № 4

РАСЧЕТ ШИХТЫ МЕТОДОМ ПОДБОРА

Расчет шихты методом подбора предусматривает выбор типа и марки шихтовых материалов для обеспечения требуемого качества выплавляемого чугуна, по возможности, минимальной стоимости составляющих

шихты. Затем расчет направлен на определение потребного количества каждого из составляющих с целью получения требуемого химического состава чугуна.

Последовательность расчета

1. Определить средний химический состав выплавляемого чугуна (химсостав в отливках). Этот же химический состав будет иметь возврат собственного производства.

2. Требуемый химический состав чугуна в отливках $Q_{мет}$ заносится в нижнюю строку правой части таблицы (табл.1).

3. В предыдущей строке проставляется процент угара ($-n$) или пригара ($+n$) каждого из элементов состава.

4. Рассчитывается требуемый химический состав в металлозавалке (в шихте) до угара (пригара) $Q_{ших}$, который обеспечит химический состав в отливках $Q_{мет}$. Этот состав рассчитывают по формуле

$$Q_{ших} = Q_{мет} \frac{100}{100 \pm n}.$$

5. Определить все основные шихтовые материалы и выписать средний химический состав каждого из них, руководствуясь таблицами приложения. Химический состав исходных шихтовых материалов занести в левую часть таблицы расчета шихты «Химический состав исходных шихтовых материалов».

6. Приблизительно проставляем в столбец «% в шихте» проценты для каждого из исходных материалов, чтобы сумма всех равнялась 100 %. Ферросплавы с высоким содержанием легирующих элементов можно пока принять 0 %.

7. Рассчитывается количество элементов, вносимое в шихту. Значение содержания элемента в исходном материале (число в клетке « b ») умножается на проценты в шихте (число в клетке « d »), делится на 100 и заносится в соответствующую клетку этого же элемента, вносимое в шихту в правой части таблицы (клетка « e »). Далее число в клетке « f » умножается на число в клетке « d », делится на 100 и заносится в клетку « h ». И так далее до полного заполнения по назначенным «% в шихте» всех составляющих.

8. Столбцы «вносимое в шихту» суммируются по элементам, и результат записывается в строку «внесенное в шихту» (четвертая снизу строка правой части таблицы).

№ п/п	Исходные шихтовые материалы					% в шихте	Количество элементов, %, вносимое в шихту					
	Наименование	Химический состав					C	Si	Mn	S	P	
		C	Si	Mn	S							P
1	Возврат собственного пр-ва	«b»	«f»				«d»	«e»	«h»			
2												
3												
4												
5												
...												
Итого 100%												
Состав, внесенный в шихту												
Требуемый состав в шихте, в металлозавалке $Q_{шт}$												
Угар - n , пригар + n , %												
Химический состав в отливках $Q_{мет}$												

9. Полученный результат сравнивают с требуемым и принимают решение по изменению «% в шихте» или состава шихты, расчет повторяют до совпадения внесенного в шихту и требуемого составов.

10. После достижения состава по углероду можно содержание кремния и марганца поддерживать ферросплавами (наибольшее количество), при этом уменьшить, например, покупной чугунный лом или др.

11. Содержание серы лучше минимизировать. Содержание фосфора подшихтовывают, если задан нижний предел.

Варианты заданий

Вариант	Марка чугуна	Процент возврата в шихте	Литейный чугун	Переделный чугун	Ферросилиций	Ферромарганец	Пригар углерода, %; угар кремния, %; угар марганца, %; пригар серы, %
1	СЧ15	15	Л21А1	Пл11VBV	ФС45	ФMn0,5А	+10; -10; -15; +40
2	СЧ20	20	Л3ПБ2	Пл2ПБIV	ФС25	ФMn0,5Б	+5; -10; -20; +50
3	СЧ25	25	Л3ПБ3	Пл1ПАШ	ФС20л	ФMn1,0Б	0; -20; -25; +70
4	СЧ30	30	Л4IVГ4	Пл21Б1	ФС45	ФMn78А	+10; -10; -20; +40
5	СЧ15	25	Л51А4	Пл1ПА1	ФС25	ФMn78Б	+5; -15; -15; +50
6	СЧ20	15	Л4ПБ3	Пл2ПБIV	ФС20л	ФMn70А	0; -20; -25; +50
7	СЧ25	20	Л5ПБ3	Пл11ВАII	ФС45	ФMn70Б	+10; -10; -15; +40
8	СЧ30	15	Л2IVД2	Пл21БV	ФС20л	ФMn1,0А	+5; 0; -20; +50
9	СЧ15	20	Л21А2	Пл1ПБV	ФС45	ФMn1,5Б	+5; -5; -25; +70
10	СЧ20	25	Л4ПБ3	Пл2ПБVI	ФС25	ФMn1,5Б	+5; -10; -20; +40
11	СЧ25	30	Л5ПБ4	Пл11ВБII	ФС20л	ФMn1,0А	0; -5; -25; +50
12	СЧ30	30	Л2IVД1	Пл21АII	ФС20л	ФMn2,0Б	+10; -5; -20; +60
13	СЧ15	35	Л3IVД1	Пл11АV	ФС25	ФMn1,5А	+10; -5; -20; +60
14	СЧ20	30	Л4ПБ2	Пл2ПА1	ФС45	ФMn78А	+5; 0; -25; +60
15	СЧ25	35	Л5ПБ1	Пл1ПБIII	ФС45	ФMn78Б	+10; -10; -15; +50
16	СЧ25	35	Л41А2	Пл2ПБII	ФС25	ФMn2,0Б	+5; -15; -20; +40
17	СЧ30	25	Л2IVД4	Пл1ПБII	ФС20л	ФMn70А	+10; -10; -15; +50

Вариант	Марка чугуна	Процент возврата в шихте	Литейный чугун	Переделный чугун	Ферросилиций	Ферромарганец	Пригар углерода, %; угар кремния, %; угар марганца, %; пригар серы, %
18	СЧ15	20	ЛЗШВЗ	Пл2ШБШ	ФС25	ФMn70Б	+5; -15; -25; +60
19	СЧ20	25	Л4ШБ4	Пл1ШВШ	ФС45	ФMn0,5А	0; -5; -20; +50
20	СЧ25	30	Л5ШВЗ	Пл2ШБ	ФС25	ФMn0,5Б	+5; -10; -20; +40
21	СЧ30	25	Л4ШБ1	Пл1ШАШ	ФС20л	ФMn1,0А	+10; -10; -15; +50
22	СЧ25	20	Л3А2	Пл2ШВШ	ФС25	ФMn1,5Б	+5; -5; -25; +70
23	СЧ20	25	Л2ШВЗ	Пл1ШБШ	ФС45	ФMn2,0А	0; -10; -15; +60
24	СЧ15	30	Л1ШБ2	Пл2ШАШ	ФС25	ФMn1,5Б	+10; -10; -15; +50
25	СЧ20	35	Л2ШВ2	Пл1ШБШ	ФС20л	ФMn1,0А	+10; -15; -25; +50
26	СЧ25	30	Л3ШГЗ	Пл2ШВШ	ФС25	ФMn1,5Б	+5; -10; -15; +50
27	СЧ30	35	Л4ШД2	Пл1ШБШ	ФС45	ФMn0,5А	0; -5; -20; +60
28	СЧ25	30	Л5ШВЗ	Пл2ШВШ	ФС25	ФMn1,0Б	+5; -10; -15; +40
29	СЧ20	35	Л4ШГ2	Пл1ШАШ	ФС20л	ФMn1,5А	+5; -5; -20; +60
30	СЧ15	30	Л5ШД4	Пл2ШАШ	ФС25	ФMn2,0Б	+10; -10; -20; +50

Контрольные вопросы

1. Каким образом можно уменьшить содержание углерода в шихте?
2. Каким образом можно увеличить содержание углерода?
3. Как регулировать содержание кремния?
4. Как изменить содержание марганца?
5. Каким способом можно добиться меньшего содержания серы?
6. Каким образом технология плавки влияет на состав шихты?
7. Что изменится при расчете шихты, если вагранку заменить на ИЧТ?
8. Какие марки литейного чугуна вы знаете? Чем они отличаются друг от друга?
9. Что такое группа литейного чугуна?
10. Что такое класс литейного чугуна?
11. Что такое категория литейного чугуна?
12. Как изменится пригар углерода при плавке чугуна в вагранке в случае использования большого количества стального лома в шихте?
13. Каким образом изменить содержание фосфора в металле отливок?

14. Каким образом изменить содержание меди?
15. Какие чугуны называют природнолегированными?

Практическая работа № 5

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ

Под интенсивностью затвердевания отливки следует понимать линейную скорость перемещения границы твердое - жидкое $\frac{d\chi}{d\tau}$, где χ – толщина затвердевшего слоя, τ – время, или объемную скорость затвердевания $\frac{dv}{d\tau}$, где v – затвердевший объем в момент времени τ , или просто τ_0 – время затвердевания отливки. Чем меньше τ_0 , тем больше интенсивность затвердевания.

Темп затвердевания, скорость кристаллизации во многом определяют качество металла в отливках по следующим параметрам.

1. Интенсивность затвердевания влияет и во многих случаях определяет первичную структуру отливок:

а) для стали – это дисперсность дендритного строения: чем выше скорость затвердевания, тем меньше расстояние между осями II порядка, меньше размер дендритной ячейки;

б) для чугуна – форма и размеры включений графита, это формирование структуры металлической основы.

2. Интенсивность затвердевания определяет ликвационные процессы перераспределения примесей по телу отливки, их неравномерность, размеры и характер расположения неметаллических включений.

3. Интенсивность затвердевания определяет характер расположения усадочных дефектов в отливках:

а) при быстрой кристаллизации в условиях высокого температурного градиента в отливках формируются концентрированные усадочные раковины;

б) при медленном охлаждении усадочные дефекты формируются в виде пористости.

4. Интенсивность затвердевания определяет объем, размеры и места

расположения прибылей, места установки внутренних и наружных холодильников. Скорость охлаждения ответственна за формирование напряжений в отливке, за возникновение горячих и холодных трещин, за формирование пригара и величины остаточных напряжений.

5. Технологические, механические и эксплуатационные свойства сплавов в отливках, формирующиеся в процессе затвердевания и охлаждения, во многом определяются интенсивностью охлаждения, скоростью отвода тепла от отливки, что поддается оценке, расчету и регулированию.

Вопросы интенсивности теплоотвода изучает тепловая теория литья, которая использует в своем арсенале следующие теплофизические характеристики и геометрические размеры.

1. Свойства металла отливок:

- λ_o – коэффициент теплопроводности;
- C_o – теплоемкость;
- ρ_o – плотность;
- $t_{ликв}$ – температура ликвидус;
- $t_{сол}$ – температура солидус;
- l – скрытая теплота затвердевания;
- $a_o = \frac{\lambda_o}{C_o \rho_o}$ – коэффициент температуропроводности;
- $b_o = \sqrt{\lambda_o C_o \rho_o}$ – коэффициент теплоаккумулирующей способности.

2. Размеры отливки:

- G_o – масса отливки;
- δ_o – толщина стенки плоской части отливки;
- $d_{o,ц}$ – диаметр цилиндрической части отливки;
- $d_{o,ш}$ – диаметр шарообразной части отливки;
- R_o – приведенный радиус отливки.

3. Свойства материала формы:

- λ_{ϕ} – коэффициент теплопроводности;
- C_{ϕ} – теплоемкость;
- ρ_{ϕ} – плотность;
- $a_{\phi} = \frac{\lambda_{\phi}}{C_{\phi} \rho_{\phi}}$ – коэффициент температуропроводности формы;

– $b_{\text{ф}} = \sqrt{\lambda_{\text{ф}} C_{\text{ф}} \rho_{\text{ф}}}$ – коэффициент теплоаккумулирующей способности

формы;

– $t_{\text{ф. нач}}$ – начальная температура формы.

4. Геометрические размеры:

– $\delta_{\text{ф}}$ – толщина формы;

– $\delta_{\text{зав}}$ – толщина зазора между отливкой и формой.

В самой упрощенной форме процесс затвердевания отливки описывается законом квадратного корня

$$\chi = K \sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где χ – толщина затвердевшего слоя, мм; τ – время, с; K – коэффициент затвердевания, $\text{мм/с}^{1/2}$, значение которого можно принять не зависящим от времени затвердевания, однако его величина для различных условий принимает существенно различные значения.

Сплав	Материал формы	$K, \text{мм/с}^{1/2}$	
		Легированный	Нелегированный
Сталь	Песчаная	1,0	1,6
Сталь	Чугун	3,0	3,5
Чугун	Песчаная	0,7	0,9
Чугун	Чугун	2,5	3,0

Для тел различной формы в расчетах используют приведенную толщину R , что позволяет сопоставлять интенсивность охлаждения при различных конфигурациях: $R = V / S$, где V – объем тела, м^3 ; S – площадь его поверхности, м^2 :

– пластина – $R = \frac{\delta}{2}$, где δ – толщина пластины;

– цилиндр – $R = \frac{r_{\text{ц}}}{2}$, где $r_{\text{ц}}$ – радиус цилиндра;

– шар – $R = \frac{r_{\text{ш}}}{3}$, где $r_{\text{ш}}$ – радиус шара.

Закон квадратного корня для оценки продолжительности полного

затвердевания отливки τ_0 размером, выраженным через приведенный радиус R_0 :

$$\tau_0 = \left(\frac{R_0}{K} \right)^2. \quad (2)$$

Задание

1. Подсчитать τ_0 для легированных и нелегированных сталей и чугунов в песчаных и металлических формах для плоских δ_0 , цилиндрических $d_{0.ц}$ и шарообразных $d_{0.ш}$ отливок, приняв $\delta_0 = d_{0.ц} = d_{0.ш}$, мм.

2. Определить диаметр цилиндрической прибыли $d_{пр.ц}$ для плоской отливки δ_0 и диаметр шаровой прибыли $d_{пр.ш}$ для цилиндрической отливки $d_{0.ц}$, учитывая, что $\tau_{пр} \geq \tau_0$.

Варианты заданий

№ варианта	$\delta_0 = d_{0.ц} = d_{0.ш}$, мм	№ варианта	$\delta_0 = d_{0.ц} = d_{0.ш}$, мм
1	5	16	250
2	8	17	300
3	10	18	350
4	12	19	400
5	16	20	450
6	20	21	500
7	25	22	550
8	30	23	600
9	40	24	650
10	50	25	700
11	80	26	750
12	100	27	800
13	120	28	850
14	150	29	900
15	200	30	1000

Контрольные вопросы

1. Вычертить зависимость $\chi = K\sqrt{\tau}$ при различных значениях K (качественно и красноречиво).
2. Каким образом τ_0 зависит от λ_0 ?
3. Как τ_0 зависит от C_0 ?
4. Как τ_0 зависит от ρ_0 ?
5. Как коэффициент затвердевания K зависит от λ_0 , C_0 , ρ_0 ?
6. Как коэффициент затвердевания K зависит от λ_ϕ , C_ϕ , ρ_ϕ ?
7. Как τ_0 зависит от l ?
8. Как τ_0 зависит от $t_{\phi.нач.}$?
9. Почему нелегированные сплавы затвердевают быстрее легированных?
10. Почему стальные отливки затвердевают быстрее чугуновых?

ПРИЛОЖЕНИЕ

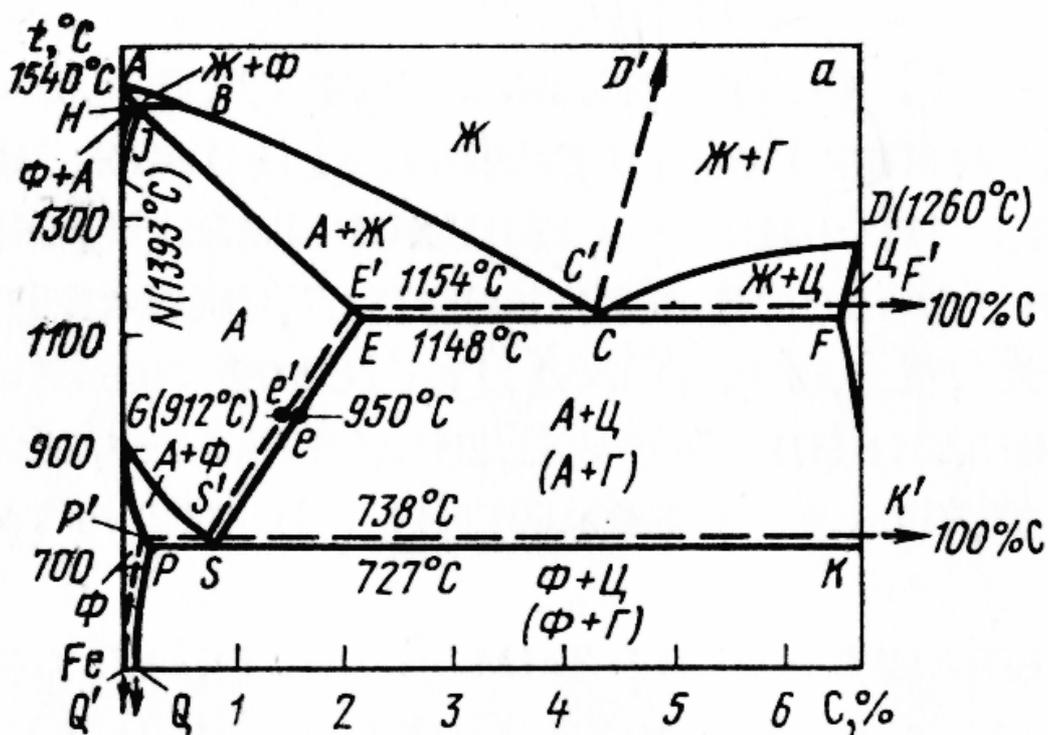


Диаграмма состояния железо – углерод и железо – цементит

Марки и химический состав литейных чугунов (по ГОСТ 4832-80)

Марка чугуна	Содержание элементов, %				
	Si	Mn для групп			
		I	II	III	IV
Л1	Св. 3,2 до 3,6	До 0,3	Св. 0,3 до 0,5	Св. 0,5 до 0,9	Св. 0,9 до 1,5
Л2	Св. 2,8 до 3,2				
Л3	Св. 2,4 до 2,8				
Л4	Св. 2,0 до 2,4				
Л5	Св. 1,6 до 2,0				
Л6	Св. 1,2 до 1,6				

Марка чугуна	Содержание элементов, %								
	P для классов				S для категорий				
	A	Б	В	Г	Д	1	2	3	4
Л1	0,08	0,12	0,3	Св. 0,3 до 0,7	Св. 0,7 до 1,2	0,02	0,03	0,04	0,05
Л2									
Л3									
Л4									
Л5									
Л6									

Примечание. По требованию потребителей содержание хрома может быть не выше 0,03 %.

Марки и химический состав рафинированных литейных чугунов (по ГОСТ 4832-80)

Марка чугуна	Содержание элементов, %				
	Si		Mn для групп		
			I	II	III
ЛР1	Св. 3,2 до 3,6	включительно	До 0,3 включи- тельно	Св. 0,3 до 0,5 включи- тельно	Св. 0,5 до 1,0 включи- тельно
ЛР2	Св. 2,8 до 3,2	»			
ЛР3	Св. 2,4 до 2,8	»			
ЛР4	Св. 2,0 до 2,4	»			
ЛР5	Св. 1,6 до 2,0	»			
ЛР6	Св. 1,2 до 1,6	»			
ЛР7	Св. 0,8 до 1,2	»			

Марка чугуна	Содержание элементов, %				
	P (не более) для классов		P (не более) для классов		C*
	A	B	1	2	
ЛР1	0,008	0,12	0,005	0,010	3,4 – 3,9
ЛР2					3,5 – 4,0
ЛР3					3,6 – 4,1
ЛР4					3,7 – 4,2
ЛР5					3,8 – 4,3
ЛР6					3,9 – 4,4
ЛР7					4,0 – 4,5

*По требованию потребителя.

Марки и химический состав хромоникелевых чугунов (по ТУ 14-15-84-79)

Марка чугуна	Содержание элементов, %		Марка чугуна	Содержание элементов, %	
	Ni + Co	Cr		Ni + Co	Cr
ЛХН1	0,2	0,4 – 1,2	ЛХН6	0,7	1,2 – 2,2
ЛХН2	0,3	0,4 – 1,2	ЛХН7	0,8	1,2 – 2,2
ЛХН3	0,4	0,4 – 1,2	ЛХН8	0,9	1,2 – 2,2
ЛХН4	0,5	0,4 – 1,2	ЛХН9	1,0	1,2 – 2,2
ЛХН5	0,6	0,4 – 1,2	ЛХН10	1,0	2,3 – 3,2

Примечание. Содержание Si, Mn, P, S для чугуна любой марки должно соответствовать требованиям ГОСТ 4832-80 «Чугун литейный».

Марки и химический состав литейных титановых и титаномедистых чугунов (по ТУ 14-15-84-79)

Марка	Содержание элементов, %									
	Si	Mn	P	S (не более) для категории		Cu для степени легирования			Cr (не более)	Ti
				I	II	I	II	III		
Титановые чугуны										
БТЛ3	2,41 – 2,30	0,9	0,5	0,02	0,03	-	-	-	0,8	0,3 – 1,0
БТЛ4	2,01 – 2,40									
БТЛ5	1,61 – 2,00									
БТЛ6	1,21 – 1,60									
БТЛ7	0,81 – 1,20									
Титаномедистые чугуны										
БТЛ3	2,41 – 2,30	0,9	0,5	0,02	0,03	1,0 – 2,0	2,01 – 2,5	2,51 – 3,0	0,8	0,3 – 1,0
БТЛ4	2,01 – 2,40									
БТЛ5	1,61 – 2,00									
БТЛ6	1,21 – 1,60									
БТЛ7	0,81 – 1,20									

Марки и химический состав пердеельных чугунов для литейного производства (по ГОСТ 805-80)

Марка чугуна	Содержание элементов, %				
	Si	Mn для групп			
		I	II	III	IV
ПЛ1	Св. 0,8 до 1,2	До 0,3	Св. 0,3 до 0,5	Св. 0,5 до 0,9	Св. 0,9 до 1,5
ПЛ2	Св. 0,5 до 0,8				

Марка чугуна	Содержание элементов, %							
	P (не более) для классов			S (не более) для категории				
	A	B	B	I	II	III	IV	V
ПЛ1	0,08	0,12	0,3	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
ПЛ2								

П р и м е ч а н и е. По требованию потребителя чугуны изготавливают с массовой долей углерода 4,0 – 4,5 %, для ЧШГ и КЧ – с массовой долей хрома до 0,2 %.

Марки и химический состав высококачественного перелдльного чугуна (по ГОСТ 805-80)

Марка	Содержание элементов, %										
	Si	Mn для групп			Mn для классов				Mn для категорий		
		I	II	III	A	Б	В	Г	I	II	III
ПВК1	0,9 – 1,2										
ПВК2	0,5 – 0,9	До 0,5	Св. 0,5	Св. 1,0	До 0,02	До 0,03	До 0,04	До 0,05	До 0,015	До 0,020	До 0,025
ПВК3	До 0,5		до 1,0	до 1,5							

Марки и химический состав фосфористых перелдльных чугунов (по ГОСТ 805-80)

Марка чугуна	Содержание элементов, %									
	Si	Mn (не более) для групп			S (не более) для катего- рии			P для классов		
		I	II	III	I	II	III	Ф	Б	В
ПФ1	Св. 0,9 до 1,2									
ПФ2	Св. 0,5 до 0,9	1,0	1,5	2,0	0,03	0,05	0,07	Св. 0,3 до 0,7	Св. 0,7 до 1,5	Св. 1,5 до 2,0
ПФ3	До 0,5									

Примечание. Для классов А, Б, В содержание мышьяка соответственно не более 0,6 %; 0,15 %; 0,20 %.

Ферросилиций. Марки и химический состав (по ГОСТ 1415-79)

Марка	Содержание элементов, %, не более								
	Si	C	S	P	Al	Mn	Cr	Ti	Ca
ФС92	92	-	0,2	0,03	2,5	0,2	0,2	-	0,5
ФС90	89	-	0,2	0,03	3,0	0,2	0,2	-	-
ФС75	74 – 80	-	0,2	0,05	-	0,4	0,4	-	-
ФС75л	74 – 80	-	0,2	0,05	1,5	0,3	0,3	-	-
ФС75эл	74 – 80	0,1	0,2	0,04	0,1	0,3	0,2	0,05	0,1
ФС70эл	68 – 74	0,1	0,2	0,04	0,1	0,3	0,3	0,04	0,1
ФС70	68 – 74	-	0,2	0,05	2,0	0,4	0,4	-	-
ФС65	63 – 68	-	0,2	0,05	2,0	0,4	0,4	-	-
ФС45	41 – 47	-	0,2	0,05	2,0	0,6	0,5	-	-
ФС25	23 – 27	0,8	0,2	0,06	1,0	0,9	1,0	-	-
ФС20	20 – 23	1,0	0,2	0,10	1,0	1,0	-	-	-
ФС20л	19 – 23	1,0	0,2	0,20	1,0	1,0	0,3	-	-
ФС90Ал3,5	89	-	0,2	0,03	3,5	0,2	0,2	-	-
ФС65Ал2,5	63 – 68	-	0,2	0,05	2,5	0,4	0,4	-	-

Примечание. В обозначении марок ферросилиция строчные буквы указывают на основное назначение : л – для литейного производства, эл – для выплавки электротехнической стали.

Марки и химический состав ферромарганца (по ГОСТ 4755-91)

Марка основного сплава	Содержание элементов %				
	Mn	C	P	Si	S
ФМн0,5	85 – 95	<i>Низкоуглеродистый</i>			0,03
ФМн1,0		0,5	0,3	2,0	
ФМн1,5		<i>Среднеуглеродистый</i>			
ФМн2,0	> 70	1,0	0,35	2,0	0,03
ФМн78	76 – 82	<i>Высокоуглеродистый</i>			0,03
ФМн70		2,0	0,55	2,0	

Марки и химический состав силикомарганца (по ГОСТ 4756-77)

Марка основы сплава	Содержание элементов, %				
	Si	Mn (не менее)	C	P (не более) для классов	
				A	Б
МnC25	Свыше 25	60	1,5	0,05	0,25
МnC27	20 – 25	65	1,0	0,10	0,35
МnC17	15 – 20	65	2,5	0,10	0,60
МnC12	10 - 15	65	3,5	0,20	0,60

Ферросиликохром. Марки и химический состав (по ГОСТ 11861-77)

Марка	Содержание элементов, %				
	Si	Cr (не менее)	C	P	S
			не более		
ФСХ13	Св. 10 до 16	55	6,0	0,04	0,03
ФСХ20	Св. 16 до 23	48	4,5	0,04	0,02
ФСХ26	Св. 23 до 30	45	3,0	0,03	0,02
ФСХ33	Св. 30 до 37	40	0,9	0,03	0,02
ФСХ40	Св. 37 до 45	35	0,2	0,03	0,02
ФСХ48	Св. 45	28	0,1	0,03	0,02

Феррофосфор. Марки и химический состав (по ТУ 14-5-72 - 80)

Марка	Содержание элементов, %			
	P (не менее)	Si	Mn	S
			не более	
ФФ14	14	2	1,5	0,5
ФФ16	16	2	3,0	0,5
ФФ18	18	2	4,0	0,5

Ферроникель. Марки и химический состав (по ТУ 48-3-59 - 84)

Марка	Содержание элементов, %					
	Ni + Co	Co (не более)	Si	C	Cr	Cu
			не более			
ФН1	26,1	0,20	0,05	0,05	0,06	0,25
ФН2	24,3	0,20	0,06	0,06	0,07	0,30
ФН3	16,4	0,30	0,06	0,07	0,10	0,30
ФН5	7,0	0,35	0,10	0,10	0,10	0,08
ФН6	3,5	0,40	3,5	1,5	1,0	0,01
ФН7	3,8 – 5,3	0,1 – 0,4	3,5 – 6,0	1,0 – 2,5	2,0 – 3,0	5,6 – 6,5
ФН8	3,5 – 4,8	0,1 – 0,4	4,0 – 8,0	1,3 – 2,5	1,5 – 4,0	-

П р и м е ч а н и е. Для выплавки чугуна используют главным образом марки ФН6, ФН7, ФН8 с повышенным содержанием кремния, хрома, углерода и меди, поставляемые в виде чушек массой 50 кг.

Карбюризаторы для науглероживания чугуна при плавке в электропечах

Наименование	ТУ	Содержание, %				Зернистость, мм
		зола	серы	влаги	углерода	
Графит измельченный	48-20-54 – 84	0,9 – 1,0	До 0,05	0,9 – 1,0	Остальное	0,1 – 2,5
Мелочь коксовая про- каленная	48-20-68 – 75	До 18	До 0,3	До 10	»	0 – 10
Пекококсая мелочь	14-6-147 – 78	До 5,0	До 0,5	-	»	До 10
Коксик графитированный	48-05-2 – 79	До 9,0	До 0,5	-	»	До 15

Феррохром. Марки и химический состав (по ГОСТ 4757-79)

Марка	Содержание элементов, %					
	Cr, не менее	C	Si	P	S	
		не более				
		<i>Среднеуглеродистый</i>				
ФХ100А	65	1,0	2,0	0,03	0,04	
ФХ100Б		1,0		0,05		
ФХ200А		2,0		0,03		
ФХ200Б		2,0		0,05		
ФХ400А		4,0		0,03		
ФХ400Б		4,0		0,05		
		<i>Высокоуглеродистый</i>				
ФХ650А	65	6,5	2,0	0,03	0,06	
ФХ650Б		6,5		0,05	0,08	
ФХ800А		8,0		0,03	0,06	
ФХ800Б		8,0		0,05	0,08	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной

1. Чугун : Справ. изд-е / под ред. А. Д. Шермана и А. А. Жукова. – М. : Metallurgia, 1991. – 576 с.
2. Козлов, Л. Я. Производство стальных отливок : учеб. для вузов / Л. Я. Козлов [и др.] ; под ред. Л. Я. Козлова. – М. : МИСИС, 2003. – 352 с. – ISBN 5-87623-119-3.
3. Василевский, П. Ф. Технология стального литья / П. Ф. Василевский. – М. : Машиностроение, 1974. – 408 с.
4. Гуляев, Б. Б. Теория литейных процессов : учеб. пособие для вузов / Б. Б. Гуляев. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1976. – 216 с.

Дополнительный

1. Нехендзи, Ю. А. Стальное литье / Ю. А. Нехендзи. – М. : Metallurgizdat, 1948. – 766 с.
2. Гиршович, Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках / Н. Г. Гиршович. – М. ; Л. : Машиностроение, 1966. – 562 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Общие положения.....	3
Практическая работа № 1. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО – УГЛЕРОД.....	4
Практическая работа № 2. СТРУКТУРНЫЕ ДИАГРАММЫ ЧУГУНА.....	6
Практическая работа № 3. ОТЛИВКИ ИЗ ЧУГУНА С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ГРАФИТА ПО ГОСТ 3443-87.....	10
Практическая работа № 4. РАСЧЕТ ШИХТЫ МЕТОДОМ ПОДБОРА.....	14
Практическая работа № 5. РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ.....	19
Приложение.....	24
Библиографический список.....	37

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК
ИЗ ЧУГУНА И СТАЛИ

Методические указания к практическим занятиям

В двух частях

Часть 1

Составитель

КАЛЛИОПИН Иван Константинович

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.А. Кечин

Редактор И.А. Арефьева

Корректор В. В. Гурова

Компьютерная верстка С.В. Павлухиной

ЛР № 020275. Подписано в печать 25.02.05.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать на ризографе. Усл. печ. л. 2.32. Уч.-изд. л. 2.52. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.