

**Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия**

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА

**Методические указания
для самостоятельной подготовки к сдаче
контрольной работы и экзамена по дисциплине**

**(для студентов специальности 6.05040201
заочной формы обучения)**

Утверждено

на заседании кафедры ТОЛП
Протокол № 14 от 18.12.12 г.

Краматорск 2012

Производство отливок из чугуна. Методические указания для самостоятельной подготовки к сдаче контрольной работы и экзамена для студентов специальности 6.05040201 заочной формы обучения / Сост. П. Г. Агравал – Краматорск: ДГМА, 2012. – 30 с.

Содержит методические указания для самостоятельной подготовки к сдаче контрольной работы и экзамена по дисциплине “Производство отливок из чугуна” для студентов специальности 6.05040201 заочной формы обучения. Данное пособие содержит: структуру и примеры билетов к контрольной и экзаменационной работам, примеры ответов на билеты, перечень вопросов для подготовки к их выполнению, ссылки на методразработки, в которых были подробно освещены эти вопросы, критерии оценки ответов и др.

Составитель

П. Г. Агравал, ст. преп.

Отв. за выпуск

В. К. Заблоцкий, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| 1 СТРУКТУРА БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ | 6 |
| 2 ПРИМЕР БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ | 6 |
| 3 ПРИМЕР ОТВЕТА НА БИЛЕТ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ | 7 |
| 4 ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ | 11 |
| 5 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ..... | 12 |
| 6 СТРУКТУРА БИЛЕТА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ | 14 |
| 7 ПРИМЕР БИЛЕТА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ..... | 14 |
| 8 ПРИМЕР ОТВЕТА НА БИЛЕТ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ..... | 15 |
| 9 ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ | 26 |
| 10 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ БИЛЕТА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ | 27 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 29 |

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее методическое пособие составлено для студентов заочной формы обучения по специальности 6.05040201 «Литейное производство черных и цветных металлов». В круг вопросов, охватываемых курсом «Производство отливок из чугуна», попадают вопросы, связанные со строением и свойствами чугунных отливок, технологией плавки и технологическими особенностями процесса получения отливок из чугунов различных марок.

Цель изучения курса – формирование теоретических представлений о современных технологиях получения чугуна и изготовления отливок из него, получение навыков поиска оптимальных технологических решений при изготовлении чугунных отливок. Производство отливок из чугуна рассматривается с привлечением методов и научных взглядов, развитых в таких дисциплинах, как «Физика», «Химия», «Физическая химия и аналитический контроль», «Металловедение и термическая обработка», «Теория и технология металлургического производства» и «Теоретические основы литейного производства».

Программа курса состоит из следующих разделов:

- структура, свойства и особенности изготовления отливок из чугуна;
- теория и технология изготовления отливок из чугуна.

Дисциплина «Производство отливок из чугуна» готовит студентов к выполнению курсовой работы по данной дисциплине, выполнению комплексного задания на государственном экзамене по специальным дисциплинам, подготовке, написанию и защите дипломных работ бакалавров, специалистов и квалификационной работе магистра.

Приступая к изучению каждой новой темы курса, рекомендуется, прежде всего, ознакомиться с соответствующим разделом рекомендуемой литературы и методических указаний [1–11] и четко представить себе объем темы и последовательность разбираемых в ней вопросов. После изучения методических указаний можно переходить к предварительному ознакомлению с материалом по рекомендуемым учебникам.

Самостоятельная проработка тем курса предполагает следующий порядок работы:

- ознакомиться с содержанием темы и методическими указаниями, чтобы получить представление об объеме и содержании материала;
- прочесть соответствующие разделы в учебниках и рекомендованной литературе;
- составить краткий конспект по теме.

Когда этот первый этап работы выполнен, следует перейти к детальному изучению материала учебника. Читать учебник нужно вдумчиво, внимательно, не торопясь и не пропуская текста, стараясь понять каждую фразу. Если после тщательного изучения темы по учебнику с использованием методических указаний останутся неясные места, нужно обратиться за консультацией к преподавателю.

Чтобы легче запомнить и усвоить материал, рекомендуется составлять краткий конспект по каждому изученному разделу, так как конспект в сочетании с учебником помогает лучше подготовиться к контрольной работе и экзамену.

После изучения каждой темы нужно ответить устно на вопросы для самопроверки, помещенные в методических указаниях. Ответы на вопросы для самопроверки - важное средство самоконтроля. Они помогают закрепить в памяти материал курса.

Контрольная работа и экзамен – заключительные этапы изучения курса. Залогом успешной их сдачи является систематическая работа над курсом и полное выполнение изложенных здесь требований.

1 СТРУКТУРА БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

| № п./п. | Структура билета | Количество баллов |
|---------------|---|----------------------|
| 1 | Вопрос из темы 1.1 «Формирование структуры чугуна» | 50 |
| 2 | Вопрос из темы 1.2 «Свойства, строение, маркировка, особенности получения и применения различных видов чугунов» | 50 |
| Оценка билета | | 100 |

2 ПРИМЕР БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1 ВОПРОС (50 баллов)

Процессы формирования структуры в чугуне. Диаграмма состояния Fe–C.

2 ВОПРОС (50 баллов)

Серый чугун. Общая характеристика, структура. Маркировка. Область применения.

3 ЗАДАЧА (30 баллов)

Рассчитать средний состав шихты для выплавки чугуна марки СЧ30 в коксовой вагранке. Угар Si = –13%, Mn = –13%. Расход кокса 12 %. Толщина стенки отливки 30 мм.

3 ПРИМЕР ОТВЕТА НА БИЛЕТ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

ВОПРОС 1 (50 баллов)

Процессы формирования структуры в чугунах. Диаграмма состояния Fe–C.

Для ответа на этот вопрос необходимо воспользоваться теоретическим материалом, который представлен в следующих работах:

- 1 **Воздвиженский, В.М.** Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении / В.М. Воздвиженский, А.В.Грачев, В.В. Спасский – М.: Машиностроение, 1984. – 431 с.
- 2 **Гиршович, Н.Г.** Справочник по чугунному литью. / Н.Г. Гиршович. – Л.: Машиностроение, 1978. –758 с.
- 3 **Худокормов, Д.Н.** Производство отливок из чугуна / Д.Н. Худокормов. – Минск: Высшейшая школа, 1987. – 200 с.
- 4 **Ланда, А.Ф.** Основы получения чугуна повышенного качества. – М.: ГНТИМЛ, 1960. – 240 с.

Ответ.

Свойства чугуна определяются главным образом его структурой, формирование которой является результатом кристаллизации и перекристаллизации..

На рис.1 и 2 показаны диаграммы состояния двойных Fe-C сплавов. Полная диаграмма состояния (рис.1) была опубликована [1].

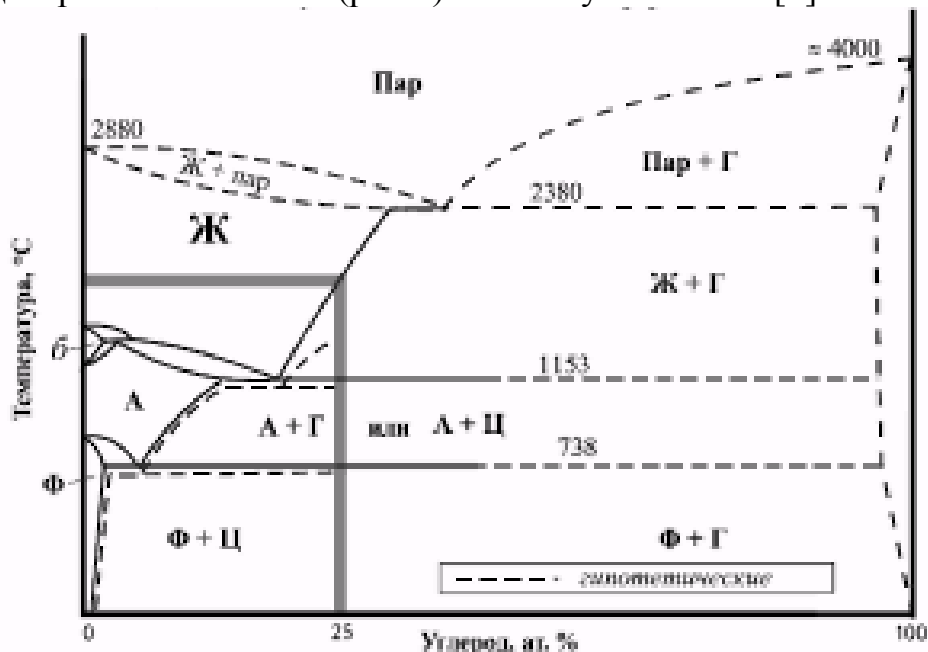
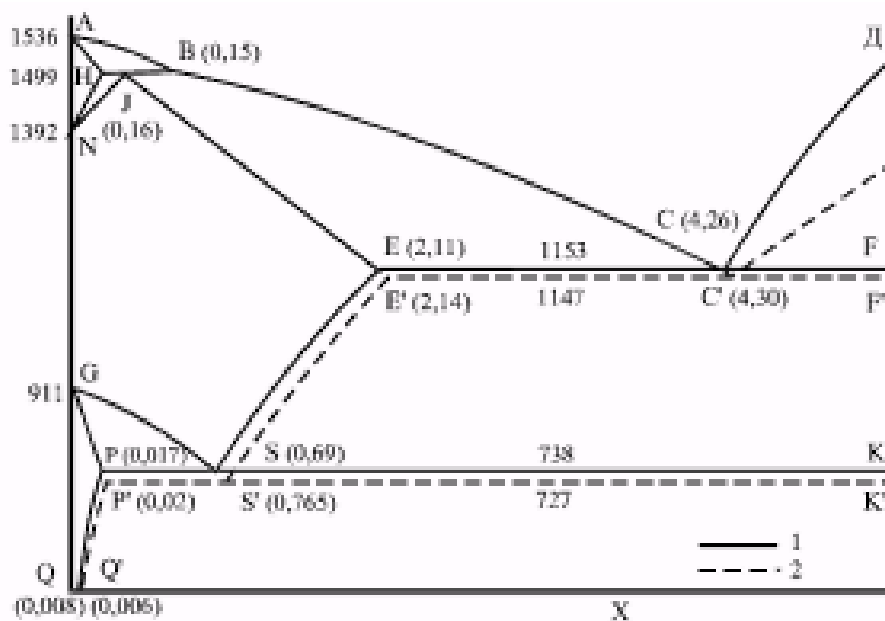


Рисунок 1 – Полная диаграмма состояния сплавов Fe–C

Диаграмму Fe–C изображают двойными линиями, отражающими одновременно два крайних случая: истинно равновесное (стабильное) состояние с кристаллизацией углерода только в свободном состоянии в виде графита (Г) и условно равновесное (метастабильное) состояние с кристаллизацией углерода полностью в связанном состоянии в виде цементита (Ц).

В результате стабильной кристаллизации и перекристаллизации образуются серые чугуны, а при метастабильной - белые; смешанный характер кристаллизации приводит к получению половинчатых чугунов.

На рис. 1 и 2 приняты обозначения стабильной системы Fe–C сплошными линиями, метастабильной Fe–Fe₃C -пунктирными. Компонентами системы Fe–C являются железо и углерод, а основными фазами – аустенит, феррит и цементит.



Риснок 2 – Двойная диаграмма состояния Fe–C сплавов: 1 - стабильное, 2 - метастабильное

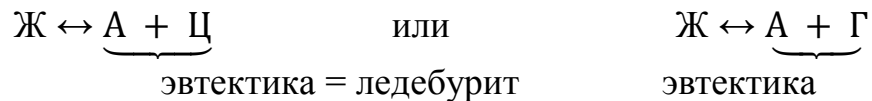
В доэвтектических чугунах (с содержанием углерода X , составляющим $E < X < C$ или $E' < X < C'$) с понижением температуры из жидкого расплава выпадает аустенит (А), в то время как в заэвтектических (с содержанием углерода более C или C') - графит (Г) либо цементит (Ц). Конец кристаллизации чугунов всегда характеризуется эвтектическим превращением. Следовательно, чугун представляет сплав железа с углеродом, характеризующийся наличием эвтектического превращения - стабильного (графитного) или метастабильного (цементитного).

В реальных чугунах положение всех критических точек изменяется в зависимости от содержания других элементов (легирующих, технологических или примесей) и скорости охлаждения.

В общем случае структура чугуна состоит из первичной фазы

(аустенита для доэвтектических; графита или цементита для заэвтектических) и эвтектики, которая в случае цементитной системы называется ледебуритом.

Эвтектическое превращение происходит на линии EF (E' F') по схемам:



Количество выделившихся при затвердевании фаз и соотношения между ними в условиях равновесия (стабильного или метастабильного) определяется из диаграммы состояния по правилу отрезков. Сама эвтектика состоит из:

а) аустенита и цементита (метастабильная);

б) аустенита и графита (стабильная). Соотношение между компонентами эвтектики в условиях равновесия также определяется по правилу отрезков. При охлаждении в твердом состоянии из аустенита вследствие понижения растворимости продолжает выделяться избыточный углерод в виде графита по линии ES или цементита по линии E' S¹. При достижении температуры на линиях PSK или P'S'K' этот процесс сопровождается эвтектоидным превращением с образованием стабильного (Ф + Г) или метастабильного (Ф + Ц = Перлит) эвтектоида.

ВОПРОС 2 (50 баллов)

Серый чугун. Общая характеристика, структура. Маркировка. Область применения.

Для ответа на этот вопрос необходимо воспользоваться теоретическим материалом, который представлен в следующих работах:

- 1 **Воздвиженский, В.М.** Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении / В.М. Воздвиженский, А.В.Грачев, В.В. Спасский – М.: Машиностроение, 1984. – 431 с.
- 2 **Гиршович, Н.Г.** Справочник по чугунному литью. / Н.Г. Гиршович. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.
- 3 **Худокормов, Д.Н.** Производство отливок из чугуна / Д.Н. Худокормов. – Минск: Высшая школа, 1987. – 200 с.
- 4 **Ланда, А.Ф.** Основы получения чугуна повышенного качества. – М.: ГНТИМЛ, 1960. – 240 с.

Ответ.

Серый чугун это сплав железа, кремния и углерода, содержащий также Mn, P, S. В структуре таких чугунов большая часть или весь углерод находится в виде графита пластинчатой формы (рис. 3). Излом такого чугуна из-за наличия графита имеет серый цвет.

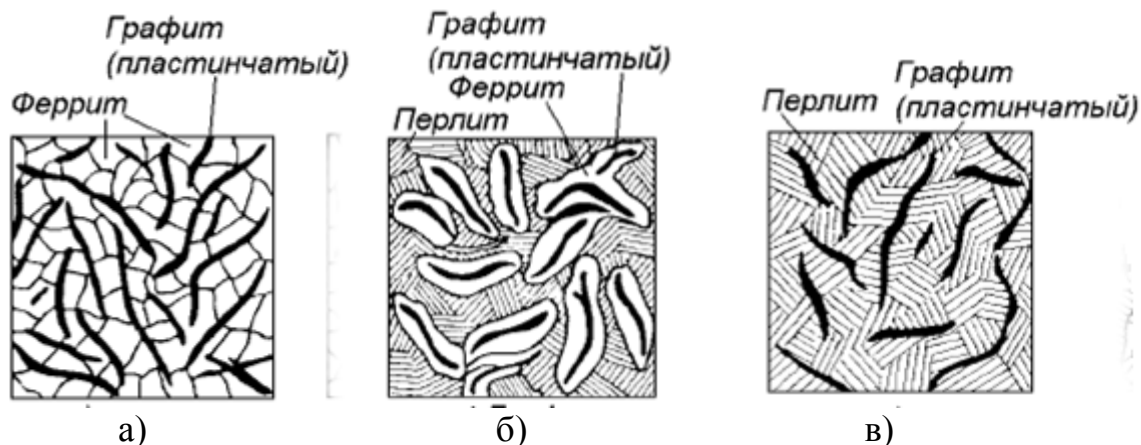


Рисунок 3 – Микроструктура серого чугуна с ферритной (а), ферритно-перлитной (б) и перлитной (в) матрицей

В зависимости от скорости дальнейшего охлаждения после затвердевания (а значит и от размера отливки) чугун может иметь ферритную (рис. 3, а), феррито-перлитную (рис. 3, б) и чисто перлитную (рис. 3, в) металлическую основу. С ростом скорости охлаждения возрастает доля перлита, а следовательно и прочность чугуна, но падает его пластичность. Для каждой области применения выбирают марку чугуна с оптимальным для этого случая сочетанием свойств.

Маркируется серый чугун буквами СЧ, после которых указывают гарантированное значение предела прочности в кг/мм², например СЧ30.

Серый чугун характеризуется высокими литейными свойствами (низкая температура кристаллизации, текучесть в жидком состоянии, малая усадка) и служит основным материалом для литья. Он широко применяется в машиностроении для отливки станин станков и механизмов, поршней, цилиндров.

Высокая хрупкость, свойственная серым чугунам вследствие наличия в их структуре графита, делает невозможным их применение для деталей, работающих в основном «на растяжение» или «на изгиб»; чугуны используются лишь при работе «на сжатие».

4 ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

1. Классификация чугунов.
2. Процессы формирования структуры в чугуне. Диаграмма состояния Fe–C.
3. Формообразование графита при первичной кристаллизации.
4. Графитизация чугуна. Гипотезы.
5. Графитизирующие модификаторы и способы их введения в жидкий чугун.
6. Сфероидизирующие модификаторы и способы их введения в жидкий чугун.
7. Формирование структуры матрицы чугунов при кристаллизации.
8. Влияние условий кристаллизации на форму и размер включений графита.
9. Серый чугун. Общая характеристика, структура. Маркировка. Область применения.
10. Серый чугун. Влияние отдельных элементов на свойства.
11. Ковкий чугун. Общая характеристика, структура. Маркировка. Область применения.
12. Ковкий чугун. Влияние отдельных элементов на свойства.
13. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Общая характеристика, структура. Маркировка.
14. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Влияние отдельных элементов на свойства. Область применения.
15. Высокопрочный чугун с вермикулярным графитом. Общая характеристика, структура. Область применения
16. Высокопрочный чугун с вермикулярным графитом. Влияние отдельных элементов на свойства..
17. Белый чугун. Общая характеристика, структура, свойства.
18. Легированные чугуны. Общая характеристика, структура. Маркировка. Область применения.
19. Легированные чугуны. Влияние отдельных элементов на свойства.
20. Особенности изготовления отливок из серого чугуна.
21. Особенности изготовления отливок из высокопрочных чугунов.
22. Особенности получения отливок со структурой ковкого чугуна.
23. Особенности изготовления отливок легированных чугунов.

5 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

| № п./п. | Структура билета | Количество баллов |
|---------------|---|----------------------|
| 1 | Вопрос из темы 1.1 «Формирование структуры чугуна» | 50 |
| 2 | Вопрос из темы 1.2 «Свойства, строение, маркировка, особенности получения и применения различных видов чугунов» | 50 |
| Оценка билета | | 100 |

- оценки «А» (90-100 баллов, «отлично») за билет заслуживает студент, который в полном объеме ответил на все вопросы билета, логично и последовательно их обосновал, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями реакций, схемами оборудования и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место при производстве отливок из чугуна;

- оценки «В» (81-89 баллов, «хорошо») за билет заслуживает студент, который правильно и в полном объеме с минимальными ошибками ответил на все вопросы билета, логично и последовательно их обосновал, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями реакций, схемами оборудования и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место при производстве отливок из чугуна;

- оценки «С» (75-80 баллов, «хорошо») за билет заслуживает студент, который в основном правильно и в достаточном для усвоения объеме ответил на все вопросы билета, дал им обоснование, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями реакций, схемами оборудования и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место при производстве отливок из чугуна;

- оценки «D» (65-74 балла, «удовлетворительно») за билет заслуживает студент, который в основном правильно и в достаточном объеме ответил на вопросы билета, но при этом не в полной мере и не

всегда последовательно сопровождал их необходимыми формулами, уравнениями реакций, схемами оборудования и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место при производстве отливок из чугуна;

- оценки «Е» (55-64 балла, «удовлетворительно») за билет заслуживает студент, который в минимально допустимом объеме ответил на вопросы билета, но при этом не в полной мере и не всегда последовательно и логично аргументировал свои ответы;

- оценки «FX» (30-54 балла, «неудовлетворительно») за билет заслуживает студент, который при ответе на вопросы билета допустил ошибки и испытывал затруднения с обоснованием ответов, а также испытывал затруднения в понимании связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и проблемами производства отливок из чугуна;

- оценки «F» (1-29 баллов, «неудовлетворительно») за билет заслуживает студент, который при ответе на вопросы билета допустил принципиальные ошибки и продемонстрировал непонимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и проблемами производства отливок из чугуна.

6 СТРУКТУРА БИЛЕТА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ

| № п./п. | Структура билета | Количество баллов |
|---------------|---|-------------------|
| 1 | Вопрос из темы 2.1 «Материалы, теория и технология выплавки чугуна» | 35 |
| 2 | Вопрос из темы 2.2 «Теория и технология выплавки чугуна» | 35 |
| 3 | Задача | 30 |
| Оценка билета | | 100 |

7 ПРИМЕР БИЛЕТА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1 ВОПРОС (35 баллов)

Устройство и принцип действия коксовых вагранок. Термодинамические и физико-химические процессы в различных зонах вагранки. Преимущества и недостатки.

2 ВОПРОС (35 баллов)

Выплавка чугуна в индукционных тигельных печах. Устройство и принцип действия, термодинамические и физико-химические процессы. Преимущества и недостатки.

3 ЗАДАЧА (30 баллов)

Рассчитать средний состав шихты для выплавки чугуна марки СЧ30 в коксовой вагранке. Угар $Si = -13\%$, $Mn = -13\%$. Расход кокса 12 %. Толщина стенки отливки 30 мм.

8 ПРИМЕР ОТВЕТА НА БИЛЕТ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1 ВОПРОС (35 баллов)

Устройство и принцип действия коксовых вагранок. Термодинамические и физико-химические процессы в различных зонах вагранки. Преимущества и недостатки.

Для ответа на этот вопрос необходимо воспользоваться теоретическим материалом, который представлен в следующих работах:

- 1 **Ващенко, К.И.** Плавка и внепечная обработка чугуна для отливок / К.И. Ващенко, В.С. Шумихин. – К.: Вища школа, 1992. – 246 с.
- 2 **Сухарчук, Ю.С.** Плавка чугуна в вагранках / Ю.С. Сухарчук, А.К. Юдкин. – М. – Машиностроение, 1981. – 143 с.
- 3 **Долотов, Г.П.** Печи и сушила литейного производства / Г. П. Долотов, Е. А. Кондаков. – М. Машиностроение, 1990. – 302 с.

Ответ.

Вагранка представляет собой плавильную печь шахтного типа. На рисунке 1 изображена вагранка со стационарным копильником. Вертикальный цилиндрический кожух 9, изготовленный из листовой стали толщиной 8—12 мм, установлен на подовой плите 19. Внутри кожух футерован огнеупорным материалом 10 толщиной 250—300 мм. Подовая плита установлена на четырех колоннах 20. В центре подовой плиты

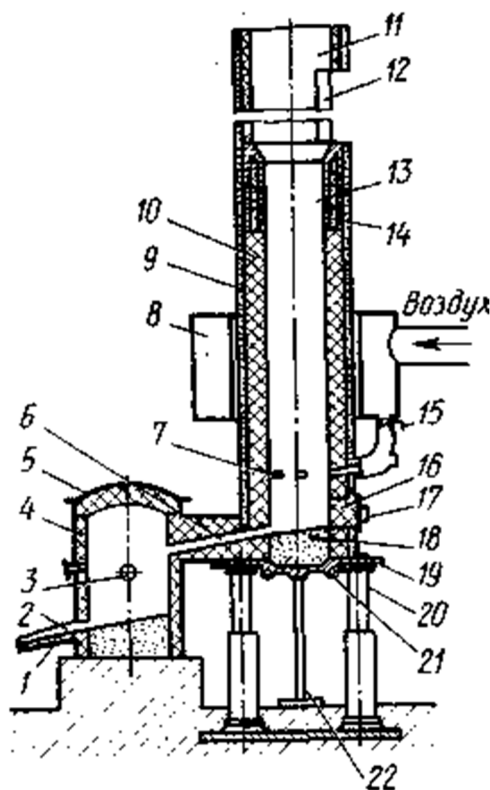


Рисунок 1 – Схема устройства коксовой вагранки

имеется круглое: отверстие для удаления остатков плавки. Отверстие закрыто двумя полукруглыми дверцами 21, подвешенными на петлях. Специальный затвор исключает возможность раскрытия дверей. Иногда дверцы подпирают снизу стойкой 22. В кожухе вагранки имеются отверстия для загрузочного окна 12, рабочего окна 16, фурм 7, соединительной летки 6.

Часть вагранки от загрузочного окна до подовой плиты называют шахтой 13, а выше загрузочного окна — трубой 11. Ниже загрузочного окна (на 0,8—1,2 м) шахту часто выкладывают не огнеупорными, а чугунными пустотелыми блоками 14, которые хорошо противостоят ударам загружаемого металла. Под 18 набивной. Вагранку разжигают дровами через рабочее окно, которое перед началом плавки плотно закрывают дверцей 17.

Копильник 4 предназначен для сбора необходимого количества чугуна. Копильник, как и вагранка, имеет кожух и футеровку. Жидкий металл из копильника выпускают через летку 2 по желобу 1; шлак — через шлаковую летку 3. Съёмный свод 5 облегчает условия ремонта. Воздух вначале поступает в фурменный пояс 8 и затем по патрубкам — к фурмам. Шиберы 15, установленные на патрубках, позволяют регулировать расход воздуха на фурмы. На верхней части дымовой трубы, выходящей из здания, устанавливают искрогаситель, предназначенный для улавливания раскаленных частиц и пыли, выбрасываемых из вагранки.

При непродолжительных плавках (3—4 ч) футеровка выгорает лишь выше фурм. В этом случае ремонт плавильного пояса сводится к заделыванию выгоревших мест новым огнеупорным кирпичом с применением раствора из огнеупорной глины. При более продолжительных плавках выгорание футеровки настолько значительно, что требуется полная замена футеровки в районе плавильного пояса.

Огнеупорный материал для плавильного пояса подбирают в зависимости от химического состава шлаков, образующихся при плавке. При кислых шлаках футеровку выполняют из шамота или кварцитов, а при основных шлаках — из магнезита. Для футеровки плавильного пояса применяют набивные массы. Наиболее распространен следующий состав огнеупорной массы: 90—95% кварцевого песка, 5—10% графита, 6—8% воды (дополнительно). Эту смесь в сухом состоянии перемешивают в бегунах в течение 5—10 мин. Для изготовления набивной футеровки в вагранку на уровне фурм устанавливают из отдельных секторов опалубку — металлический цилиндр диаметром, равным внутреннему диаметру вагранки, высотой 300—400 мм. Кольцевое пространство между опалубкой и кожухом вагранки плотно набивают огнеупорным составом. Когда масса уплотнена по всей высоте цилиндра, на него устанавливают новый цилиндр, и набивка продолжается. Применение набивной футеровки для ремонта плавильного пояса позволяет значительно снизить трудоемкость и стоимость ремонтных работ.

Хорошей стойкостью по отношению к кислым шлакам обладает набивная масса, включающая 35—40% цирконового концентрата, 10—30% графита и 35—50% огнеупорной глины. Количество влаги (сверх 100%) до 3%. Массу применяют для горна вагранки. Срок службы горна — более недели.

Кокс в вагранке горит в холостой колоше. Воздух, поступающий через фурмы, встречается с раскаленными кусками кокса, в результате чего происходит интенсивное протекание реакций взаимодействия углерода кокса с кислородом воздуха. Исследования горения кокса показывают, что в первом слое расходуется 50% всего кислорода, содержащегося в воздухе. В последующих двух-трех слоях расходуется остальной кислород. Слой, в котором полностью усваивается кислород воздуха, называется кислородной зоной.

Температура в кислородной зоне зависит от количества сгорающего кокса. Чем больше сгорает кокса, тем выше температура. Исследование процесса горения кокса в вагранке показало, что взаимодействие кислорода воздуха с углеродом кокса лимитируется диффузией кислорода к поверхности кокса.

Начало кислородной зоны соответствует содержанию кислорода 21%, конец — 0%. При скорости воздуха 0,11 м/с после прохождения воздухом первых рядов кусков топлива (~5% O_a) в продуктах горения содержится 4% CO и 13% CO_a (остальное O_2 и N_2). С повышением скорости воздуха имеет место рост концентрации CO и снижение CO_2 . Так при скорости воздуха 1 м/с концентрации CO и CO_a уже равны (~10%) а при скорости 2 м/с содержится 12% CO и 9% CO_2 .

Такое изменение состава газа объясняется более полным протеканием, по мере роста температуры, реакции $C + CO_2 = 2CO$. В присутствии твердого углерода идет непрерывный процесс образования CO, и это делает бесплодными все попытки дожечь CO в шахте вагранки. В вагранке при любом количестве воздуха, поданного в слой топлива, протекает процесс одновременного образования и CO_2 , и CO. Соотношение между CO и CO_2 зависит от температуры. Чем выше температура, тем больше CO и меньше CO_2 . Такие способы интенсификации горения, как форсированная подача воздуха, обогащение воздуха кислородом и подогрев воздуха, приводят к повышению температуры в зоне горения и, следовательно, к росту CO в продуктах горения

В горн, расположенный ниже оси фурм, свежие продукты горения топлива практически не поступают, поэтому движение газов отсутствует и реакция восстановления CO_2 углеродом кокса протекает достаточно полно. Соотношение CO/ CO_2 соответствует области чистого железа, поэтому в горне вагранки все оксиды железа могут восстанавливаться. Для эффективной работы горна — как зоны восстановления железа, необходимо непрерывно удалять из вагранки жидкий чугун и шлак, так как

при накапливании чугуна и шлака в горне их уровень постоянно меняется, а следовательно, меняются и условия восстановления оксидов металла в горне.

Переплавляемый металл, загруженный в вагранку, опускаясь в шахте, последовательно проходит через зоны подогрева, плавления, перегрева и горн и стекает в копильник.

В зоне подогрева металл находится в твердом состоянии. Соприкасаясь с ваграночными газами, металл постепенно нагревается от начальной температуры i'_n до температуры плавления $t_{пл}$ (рисунок 2).

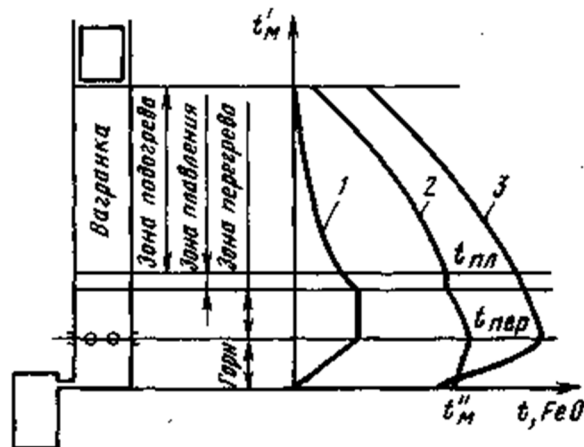


Рисунок 2 – Взаимодействие металла с газами по высоте вагранки

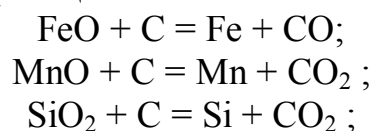
Передача теплоты от ваграночных газов к металлу происходит за счет конвекции, так как газы движутся в шахте с достаточно высокой скоростью. Передача теплоты излучением практически отсутствует, потому что средняя температура газов не превышает 1000 °С (рисунок 2). В зоне подогрева металл окисляется, взаимодействуя с газом CO_a . Скорость окисления металла увеличивается при повышении температуры нагрева металла (рисунок 2).

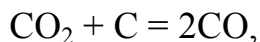
В зоне плавления поверхностный слой металла начинает оплавляться. Жидкий металл в виде капель или струек отделяется от куска металла и стекает вниз. Температура металла в зоне плавления остается практически постоянной, а окисление металла увеличивается.

В зоне перегрева температура металла повышается, а окисление металла приостанавливается, так как в результате контакта жидкого металла с коксом интенсивно протекает реакция восстановления оксидов железа (рисунок 2).

В горне вагранки температура поддерживается только за счет теплота, приносимой жидким металлом и шлаком из зоны перегрева, поэтому температура металла в горне немного понижается (рисунок 2).

В горне протекают реакции





в результате чего содержание оксида углерода может достигать 97%. Процесс восстановления оксидов металлов в горне идет настолько эффективно, что при достаточной высоте горна весь металл, окислившийся в зонах подогрева, плавления и перегрева, может быть восстановлен (рисунок 2).

Стабильные результаты как по перегреву металла, так и по его химическому составу могут быть получены только в том случае, если весь металл и шлак непрерывно удаляются из горна в ко-пильник. Если в горне будет накапливаться металл и шлак и их уровни будут меняться в процессе плавки, то степень восстановления оксидов металла в горне будет осуществляться не полностью, что вызовет значительное колебание химического состава шлака, а следовательно, и выплавляемого чугуна.

При подаче в вагранку подогретого воздуха температура выплавляемого чугуна повышается и тем в большей степени, чем выше температура воздуха.

2 ВОПРОС (35 баллов)

Выплавка чугуна в индукционных тигельных печах. Устройство и принцип действия, термодинамические и физико-химические процессы. Преимущества и недостатки.

Для ответа на этот вопрос необходимо воспользоваться теоретическим материалом, который представлен в следующих работах:

- 1 **Ващенко, К.И.** Плавка и внепечная обработка чугуна для отливок / К.И. Ващенко, В.С. Шумихин. – К.: Вища школа, 1992. – 246 с.
- 2 **Долотов, Г.П.** Печи и сушила литейного производства / Г. П. Долотов, Е. А. Кондаков. – М. Машиностроение, 1990. – 302 с.

В качестве плавильных агрегатов в чугунолитейных цехах в основном нашли распространение индукционные тигельные печи промышленной частоты благодаря следующим преимуществам: печи не требуют преобразователей тока и относительно просты по устройству, а электрический коэффициент полезного действия их высок (66—75%). Расход электроэнергии на плавку и перегрев чугуна составляет 650—700 кВт·ч/т. Теплота генерируется равномерно в самом металле без местного его перегрева, и жидкий металл интенсивно перемешивается благодаря воздействию электромагнитных сил. Это обеспечивает минимальный угар элементов, быстрое растворение добавок и равномерность металлической ванны по химическому составу.

К числу недостатков этих печей относится малая скорость плавления твердой заковки, что снижает ее к. п. д. Поэтому наиболее эффективным с точки зрения производительности и расхода электроэнергии является метод плавки на «болоте», т. е. при каждом выпуске из печи выдается в

разливочный ковш количество чугуна, составляющее 30—40% ее емкости. Затем в жидкую ванну загружают соответствующее количество твердых шихтовых материалов. При этом уровень жидкого металла поднимается до верха тигля, и печь непрерывно работает с высоким к. п. д.

К числу недостатков индукционных печей промышленной частоты относится большая потребность в производственной площади, чем при установке вагранок с такой же общей производительностью. Это объясняется значительной площадью, занимаемой трансформатором и батареей конденсаторов.

Принцип действия тигельной печи состоит в том, что расплавляемый металл помещают в пространство, пронизываемое переменным магнитным потоком. Под действием возникающей ЭДС в металле течет ток, металл нагревается и плавится.

Внутри индуктора расположен тигель из огнеупорного материала. Внутреннее пространство тигля заполняется расплавленным металлом. Тигель защищает индуктор от воздействия жидкого металла. Толщина стенки тигля, т. е. расстояние между индуктором и жидким металлом, влияет на электрические параметры печи: чем толще стенка, тем большее количество магнитных силовых линий, пронизывающих катушку, не участвует в нагреве металла и тем, следовательно, меньше $\cos \varphi$ печи. У тигельных печей $\cos \varphi = 0,05 \dots 0,2$.

Индукционные тигельные печи состоят из следующих основных частей: индуктора, магнитопроводов, каркаса, футеровки, механизма наклона, электрооборудования и системы охлаждения печи (рис. 20).

При плавке в индукционных печах необходимо учитывать изменение химического состава чугуна, в первую очередь связанное с окисли реакции велика в индукционных печах промышленной частоты вследствие интенсивного перемешивания расплава. На прохождение этих реакций очень влияют состояние шихтовых материалов, температурный режим плавки и т. д. Общий угар при переплавке шихты из легковесных материалов колеблется от 5,6 до 7,8%, что связано с загрязнением шихты. Угар собственно металла находится в пределах 1%, но он может значительно возрасти при использовании сильно окисленной шихты.

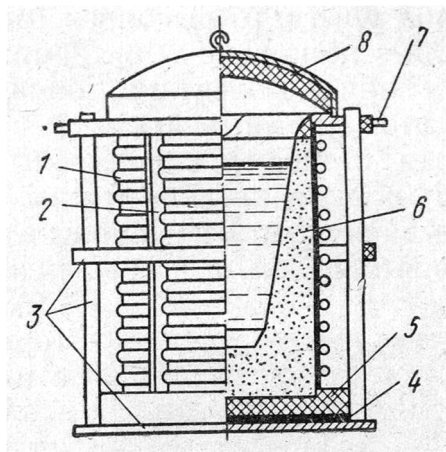
Своевременное науглероживание способствует раскислению металла, сопровождающемуся образованием «пузыристого» шлака. При этом увеличивают расход карбюризатора на 8—10%.

При температуре равновесия реакции восстановления кремния углеродом (примерно 1400° С) содержание кремния имеет минимальное значение.

Изотермическая выдержка нелегированного чугуна при относительно невысокой температуре (1350—1400° С) не вызывает существенного изменения химического состава. Выдержка при температурах выше равновесной приводит к развитию реакции восстановления кремнезема футеровки углеродом расплава (тигельная

реакция). Одновременно происходит окисление углерода на поверхности ванны. Обе реакции ускоряются при интенсивном электромагнитном перемешивании расплава. Поэтому величина угара выше при нагреве (перемешивании) и ниже при выдержке (без перемешивания).

После расплавления ванны производят доводку чугуна по химическому составу введением в него науглероживателя (карбюризатора) и ферросплавов.



1 – индуктор; 2 - крепление витков индуктора; 3 – каркас; 4 - тепловая изоляция; 5 - подовая плита; 6 – тигель; 7 - цапфы механизма наклона; 8 – крышка

Рисунок 20 – Схема индукционной печи с каркасом

Одним из наиболее важных этапов получения синтетического чугуна является процесс науглероживания, зависящий от интенсивности перемешивания, температуры и характеристики карбюризатора.

Сравнительные исследования и практика показали преимущества использования в качестве карбюризатора электродного порошка (полупродукт электродного производства), обеспечивающего стабильное усвоение углерода (90—95%).

Текущую концентрацию углерода в расплаве при науглероживании можно рассчитать по формуле

$$C = C_d - K(C_d - C_0),$$

где C_d — предельная концентрация углерода, %; C_0 — то же начальная, %; K — коэффициент науглероживания.

Чем меньше коэффициент K , зависящий главным образом от температуры и интенсивности перемешивания металла в тигле, тем больше скорость науглероживания. При плавке в индукционных печах промышленной частоты K изменяется в пределах 0,1— 0,4, причем большие значения соответствуют низкой температуре сплава, слабому перемешиванию, повышенной окисленности шихты. Наиболее стабильные результаты процесса науглероживания достигаются при загрузке 70% заданного количества карбюризатора вместе с шихтой и 30% после

наплавления ванны металла в период доводки чугуна по химическому составу. При этом отклонение не превышает $\pm 0,1\%$ С.

После расплавления чугуна, доводки по содержанию углерода, кремния, марганца и легирующих элементов необходимо произвести гомогенизацию расплава, выдержку при заданной температуре перегрева и подготовить его к разливке.

Перегрев влияет непосредственно на жидкое состояние сплава, количество и состав чужеродных зародышей, определяющих характер эвтектической кристаллизации. Регулированием степени перегрева чугуна и выдержки его при заданных температурах можно добиться разрушения структуры ближнего порядка, диспергирования микрогруппировок углерода графитного типа, изменения количества неметаллических включений, служащих чужеродными зародышами. Все это предопределяет характер последующей кристаллизации чугуна, степень графитизации и размер включений графита. При этом нужно учесть, что длительная низкотемпературная выдержка в основном способствует удалению неметаллических включений, не оказывая существенного влияния на изменение структуры ближнего порядка и дисперсность микрогруппировок углерода. Во много раз интенсивнее на эти параметры влияет повышение температуры перегрева, в связи с чем рекомендуется перегревать чугун до $1520\text{—}1550^\circ\text{C}$ и осуществлять кратковременную его выдержку при этой температуре.

Вследствие уменьшения числа потенциальных зародышей графита при таком перегреве повышается склонность чугуна к метастабильной кристаллизации. Для стимулирования графитизации, как правило, высокому перегреву должно сопутствовать модифицирование.

На практике процесс осуществляют следующим образом [89]. После перегрева до 1550°C и выдержки в течение 10—12 мин сплав охлаждают до 1420°C путем добавки чистого, неокисленного стального лома (10% массы жидкого сплава). При этой температуре чугун модифицируют ферросилицием или силикокальцием. Интенсивность электромагнитного перемешивания сплава при его перегреве и выдержке должна быть минимальной для предотвращения перехода в сплав кремнезема из футеровки и шлака, а также меньшего растворения газов.

Использование сильно окисленных и загрязненных шихтовых материалов удлиняет термовременную обработку и снижает эффект модифицирования.

К числу факторов, обеспечивающих повышенное качество чугуна, выплавленного в индукционных печах, относятся более широкие, по сравнению с вагранками, возможности использования различных шихтовых материалов. По данным исследований и практики, технологические резервы индукционной плавки используются тем в большей степени, чем больше стали содержится в шихте.

Плавка в индукционных печах способствует некоторому повышению

механических свойств чугуна, выплавленного на шихте из чушковых чугунов или смеси чугуновой и стальной стружки. Однако наиболее высокие показатели относительного предела прочности и относительной твердости получены в чугунах, выплавленных при использовании 100% стальной стружки или преобладании стальной составляющей в шихте.

В чугуне индукционной плавки характер зависимости структуры и свойств от степени эвтектичности и отношения углерода к кремнию остается таким же, как и в чугунах ваграночной плавки. Однако при индукционной плавке появляется возможность широкого варьирования отношением C/Si и достижение благодаря этому высокой прочности. При одинаковой величине степени эвтектичности уменьшение отношения C/Si значительно повышает механические свойства чугуна. По-видимому, в зависимости от конфигурации, толщины стенок и других характеристик отливки имеется предел снижения C/Si , когда ухудшение литейных свойств препятствует получению здоровой, плотной отливки.

Повышение перегрева чугуна в интервале $1350—1550^{\circ}C$ способствует размельчению графита и повышению твердости. Кривая зависимости прочности от температуры имеет максимум при определенных значениях — дальнейшее повышение перегрева приводит к дендритной кристаллизации графита и снижению прочности. Было установлено, что изотермическая выдержка существенно не влияет на структуру и свойства чугуна.

Однако в тех случаях, когда по условиям производства оказывается необходимой длительная выдержка (ночные смены, выходные дни), приходится считаться с существенными изменениями, если температура изотермической выдержки превышает $1350—1500^{\circ}C$, изотермическая выдержка в тигельной печи в течение 6 ч приводит к уменьшению содержания углерода и кремния, повышению склонности к отбеливанию, снижению твердости и предела прочности при растяжении.

Угар элементов при плавке в высокочастотной печи следующий: до 5% C; до 10% Si; до 10% Mn. Общий угар металла не превышает 2—3%.

3 ЗАДАЧА (30 баллов)

Рассчитать средний состав шихты для выплавки чугуна марки СЧ30 в коксовой вагранке. Угар Si = –13%, Mn = –13%. Расход кокса 12 %. Толщина стенки отливки 30 мм.

Для решения задачи рекомендуется пользоваться теоретическими материалами, представленными в следующих работах:

1. **Воздвиженский, В.М.** Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении / В.М. Воздвиженский, А.В.Грачев, В.В. Спасский – М.: Машиностроение, 1984. – 431 с.

2. **Долотов, Г.П.** Печи и сушила литейного производства / Г. П. Долотов, Е. А. Кондаков. – М. Машиностроение, 1990. – 302 с.

Ответ.

Состав чугуна для отливок выбирают следующим образом. Сперва назначают содержание углерода в жидком чугуне, затем по формуле А.Ф. Ланды определяют содержание кремния:

$$\%Si_{жч} = \frac{A_T - \%C_{жч}}{0,5(C_{св} + K)}, \quad (1)$$

где $A_T = 6,3 - \lg T$;

T – толщина стенки отливки, мм;

$\%C_{жч}$ – общее содержание углерода в жидком чугуне;

$C_{св}$ – количество связанного углерода, %;

K – коэффициент, зависящий от типа матрицы выплавляемого чугуна,

$K = 0,9 \dots 1$ – для серого ферритно-перлитного чугуна.

Количество связанного углерода рассчитывается по формуле

$$C_{св} = \frac{\sigma_B(\%C_{жч} + 1) - 40}{\sigma_B + 75}, \quad (2)$$

где σ_B – предел прочности при растяжении, МПа 10^{-1} .

Назначаем содержание углерода по марке выплавляемого чугуна (для нашего случая $\%C_{жч} = 3,1$). Теперь по уравнению (1) можно определить содержание Si в жидком чугуне

$$\%Si_{жч} = \frac{4,8 - 3,1}{0,5(0,791 + 1)} = \frac{1,7}{0,5 \cdot 1,791} = 1,9,$$

где $A_T = 6,3 - \lg 30 = 4,8$;

$$C_{св} = \frac{30(3,1 + 1) - 40}{30 + 75} = \frac{83}{105} = 0,791,$$

$$\sigma_B = 30 \text{ МПа } 10^{-1}.$$

Содержание остальных химических элементов жидком чугуне, за исключением серы и фосфора, следует назначить по средней величине для данной марки чугуна. Содержание серы и фосфора можно ограничить предельно допустимыми величинами для данной марки чугуна. Принятый в данном примере химический состав чугуна СЧ 30 приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав чугуна, принятый к расчету, %

| C | Si | Mn | P | S |
|-----|-----|------|------|-------|
| 3,1 | 1,9 | 0,85 | <0,2 | <0,12 |

Содержание углерода в шихте можно подсчитать по формуле Гиршовича:

$$\%C_{ш} = \frac{\%C_{жч} - 1,8}{0,5}. \quad (3)$$

Содержание в шихте Si, Mn, Cr и других элементов, угорающих при плавке, можно подсчитать по формуле

$$\% \text{Э}_{\text{ш}} = \% \text{Э}_{\text{жч}} \frac{100}{100 - \% \text{УП}_{\text{Э}}}, \quad (4)$$

где $\% \text{Э}_{\text{жч}}$ – содержание углерода в жидком чугуна, %;

$\% \text{УП}_{\text{Э}}$ – величина угара-пригара элемента Э, положительная величина соответствует угару, а отрицательная – пригару.

Содержание серы в шихте можно определить по эмпирической формуле

$$\% S_{\text{ш}} = 1,33 \cdot \% S_{\text{жч}} - 0,004 \% S_{\text{к}} P_{\text{к}}, \quad (5)$$

где $\% S_{\text{жч}}$ – содержание серы в жидком чугуна, %;

$P_{\text{к}}$, – расход кокса, %;

$\% S_{\text{к}}$ – содержание серы в коксе. %.

Пользуясь формулой (3), найдем содержание углерода в шихте:

$$\% C_{\text{ш}} = \frac{3,1 - 1,8}{0,5} = 2,6.$$

Содержание Si, Mn в шихте подсчитаем по формуле (4):

$$\% Si_{\text{ш}} = \% Si_{\text{жч}} \frac{100}{100 - \% \text{УП}_{Si}} = 1,9 \frac{100}{100 - 13} = 2,18,$$

$$\% Mn_{\text{ш}} = \% Mn_{\text{жч}} \frac{100}{100 - \% \text{УП}_{Mn}} = 0,85 \frac{100}{100 - 13} = 0,98.$$

Содержание S в шихте подсчитаем по формуле (5):

$$\% S_{\text{ш}} = 1,33 \cdot 0,12 - 0,004 \cdot 1 \cdot 12 = 0,112.$$

9 ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Материалы для выплавки чугунов. Огнеупоры, топливо, металлические компоненты шихты, легирующие, модифицирующие добавки.
2. Расчет состава шихты аналитическими и графическими методами.
3. Устройство и принцип действия коксовых вагранок. Термодинамические и физико-химические процессы в различных зонах вагранки. Преимущества и недостатки.
4. Устройство и принцип действия коксо-газовых вагранок. Преимущества и недостатки.
5. Устройство и принцип действия газовых вагранок. Преимущества и недостатки.
6. Выплавка чугуна в дуговых электропечах. Устройство и принцип действия, термодинамические и физико-химические процессы. Преимущества и недостатки.
7. Выплавка чугуна в индукционных тигельных печах. Устройство и принцип действия, термодинамические и физико-химические процессы. Преимущества и недостатки.
8. Выплавка чугуна в индукционных канальных печах. Устройство и принцип действия, термодинамические и физико-химические процессы. Преимущества и недостатки.
9. Получение чугуна дуплекс-процессом.
10. Модифицирование серого чугуна. Особенности процесса.
11. Модифицирование при выплавке высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Особенности процесса.
12. Модифицирование при выплавке высокопрочного чугуна с вермикулярным графитом. Особенности процесса.
13. Модифицирование при выплавке ковкого чугуна. Особенности процесса.
14. Легирование чугуна. Особенности процесса.
15. Электрошлаковая обработка чугуна. Особенности процесса.
16. Вакуумная обработка чугуна. Особенности процесса.
17. Аргонная и кислородная обработка чугуна. Особенности процесса.

10 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

| № п./п. | Структура билета | Количество баллов |
|---------------|---|----------------------|
| 1 | Вопрос из темы 2.1 «Материалы, теория и технология выплавки чугуна» | 35 |
| 2 | Вопрос из темы 2.2 «Теория и технология выплавки чугуна» | 35 |
| 3 | Задача | 30 |
| Оценка билета | | 100 |

- оценки «А» (90-100 баллов, «отлично») за билет заслуживает студент, который в полном объеме ответил на все вопросы билета, логично и последовательно их обосновал, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями реакций, схемами оборудования и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место при производстве отливок из чугуна;
- оценки «В» (81-89 баллов, «хорошо») за билет заслуживает студент, который правильно и в полном объеме с минимальными ошибками ответил на все вопросы билета, логично и последовательно их обосновал, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями реакций, схемами оборудования и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место при производстве отливок из чугуна;
- оценки «С» (75-80 баллов, «хорошо») за билет заслуживает студент, который в основном правильно и в достаточном для усвоения объеме ответил на все вопросы билета, дал им обоснование, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями реакций, схемами оборудования и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место при производстве отливов из чугуна;
- оценки «D» (65-74 балла, «удовлетворительно») за билет заслуживает студент, который в основном правильно и в достаточном объеме ответил на вопросы билета, но при этом не в полной мере и не всегда последовательно сопровождал их необходимыми формулами, уравнениями реакций, схемами оборудования и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с

основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место при производстве отливок из чугуна;

- оценки «Е» (55-64 балла, «удовлетворительно») за билет заслуживает студент, который в минимально допустимом объеме ответил на вопросы билета, но при этом не в полной мере и не всегда последовательно и логично аргументировал свои ответы;
- оценки «FX» (30-54 балла, «неудовлетворительно») за билет заслуживает студент, который при ответе на вопросы билета допустил ошибки и испытывал затруднения с обоснованием ответов, а также испытывал затруднения в понимании связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и проблемами производства отливок из чугуна;
- оценки «F» (1-29 баллов, «неудовлетворительно») за билет заслуживает студент, который при ответе на вопросы билета допустил принципиальные ошибки и продемонстрировал непонимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и проблемами производства отливок из чугуна.

Оценка по экзамену для студентов заочного отделения состоит из двух частей:

1. Оценка контрольной работы (КР) (весовой коэффициент – 0,50) – 0 ... 100 баллов.

2. Оценка экзамена (ПЧЭ) (весовой коэффициент – 0,50) – 0 ... 100 баллов.

Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$ОЦЕНКА(0...100) = 0,5 \times КР(0...100) + 0,5 \times ПЧЭ(0...100)$$

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воздвиженский, В.М.** Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении / В.М. Воздвиженский, А.В.Грачев, В.В. Спасский – М.: Машиностроение, 1984. – 431 с.
2. **Ланда, А.Ф.** Основы получения чугуна повышенного качества. – М.: ГНТИМЛ, 1960. – 240 с.
3. **Леви, Л.И.**– Литейные сплавы / Л.И. Леви, С.К. Кантенник – М.: Высшая школа, 1967. – 435 с.
4. **Гиршович, Н.Г.** Справочник по чугунному литью. / Н.Г. Гиршович. – Л.: Машиностроение, 1978. –758 с.
5. **Ващенко, К.И.** Плавка и выпечная обработка чугуна для отливок / К.И. Ващенко, В.С. Шумихин. – К.: Вища школа, 1992. – 246 с.
6. **Захарченко, Э.В.** Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом / Э.В. Захарченко, Ю.Н. Левченко, В.Г. Горенко, П.А. Вареник. – К. Наукова думка, 1986. – 248 с.
7. **Кудрин, В.А.** Выпечная обработка чугуна и стали / В.А. Кудрин. – Учебник для ВУЗов. – М.: Металлургия, 1992. – 336 с.
8. **Сухарчук, Ю.С.** Плавка чугуна в вагранках / Ю.С. Сухарчук, А.К. Юдкин. –М. – Машиностроение, 1981. – 143 с.
9. **Худокормов, Д.Н.** Производство отливок из чугуна / Д.Н. Худокормов. – Минск: Высшая школа, 1987. – 200 с.
10. **Долотов, Г.П.** Печи и сушилы литейного производства / Г. П. Долотов, Е. А. Кондаков. – М. Машиностроение, 1990. – 302 с.

**Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия**

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА

**Методические указания
для самостоятельной подготовки к сдаче
контрольной работы и экзамена по дисциплине**

**(для студентов специальности 6.05040201
заочной формы обучения)**

Краматорск 2012