



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

С.А. Корнеев
Е.П. Кашапова
С.С. Неугомонов

КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума*

Магнитогорск
2022

УДК 620.22 (076,5)
ББК 30.3 (я7)
К 67

Рецензенты:

кандидат технических наук,
генеральный директор ТОО «СтройЛюкс КЗ»
А.А. Зубков

кандидат технических наук,
доцент кафедры геологии маркшейдерского дела и
обогащения полезных ископаемых
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»
Е.Ю. Дегодя

Корнеев С.А., Кашапова Е.П., Неугомонов С.С.

Конструкционные и инструментальные материалы в горном производстве
[Электронный ресурс]: практикум / Сергей Александрович Корнеев, Елена Петровна Кашапова; Сергей Сергей Неугомонов; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». - Электрон. текстовые дан. (1,51 Мб).-Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ», 2022. - 1 электрон. опт. диск (CD-R).-систем. требования: IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ;10 Мб HDD; MS Windows XP и выше; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. - Загл. с титул. экрана.

Лабораторный практикум составлен в соответствии с типовой программой дисциплины «Конструкционные и инструментальные материалы в горном производстве». Содержит теоретические положения и требования к выполнению работ по изучению нормативных документов и определению маркировок чёрных и цветных металлов.

Практикум предназначен для студентов, обучающихся по направлению 21.05.04 «Горное дело» очной и заочной форм обучения.

УДК 620.22 (076,5)
ББК 30.3 (я7)
К 67

- © Корнеев С.А., Кашапова Е.П., Неугомонов С.С., 2022
- © ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 2022

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
Практическая работа № 1	5
ИЗУЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ НА РАЗЛИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	11
Практическая работа №2	11
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ	26
Практическая работа № 3	26
ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ «ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ» Fe – Fe ₃ C	39
Практическая работа № 4	39
МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ	54
Практическая работа № 5	54
МАРКИРОВКА ЧУГУНОВ	63
Практическая работа № 6	63
МАРКИРОВКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	76
Практическая работа № 7	76
ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНОВ	86
Практическая работа № 8	86
ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА	100
Практическая работа № 9	100
ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА	108
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	108

ВВЕДЕНИЕ

Значение курса «Конструкционные и инструментальные материалы в горном производстве» определяется широким диапазоном материалов, используемых не только в горном деле, но и в практической деятельности всех отраслей народного хозяйства. Главной задачей современных горнодобывающих предприятий в условиях жёсткой конкурентной борьбы является повышение качества и снижение себестоимости всех видов продукции. Эту задачу можно решить на базе знания свойств материалов.

В настоящее время твердосплавный горный и буровой инструмент – важнейшая функциональная составляющая спецтехники. Породоразрушающие агрегаты стругов, врубовых комбайнов и выемочных машин оборудуются резцами из твердых сплавов. Полимерные композиционные материалы применяются в качестве элементов индивидуальных крепей очистных забоев. Правильный выбор материала обеспечивает надёжную работу машин и механизмов, минимальные затраты на проведение ремонтно-восстановительных работ.

Решение важнейших задач, связанных с экономией материалов, уменьшением массы машин и приборов, повышением точности, надёжности и работоспособности механизмов и оборудования требует знание курса «Конструкционные и инструментальные материалы в горном производстве».

Практикум по дисциплине «Конструкционные и инструментальные материалы в горном производстве» предназначен для студентов, обучающихся на различных специальностях в области горного дела. Практические работы позволяют не только изучить свойства различных материалов, но и предложить практические рекомендации по их использованию и эксплуатации.

Все практические работы имеют единообразную структуру и содержат варианты индивидуальных заданий. В зависимости от объёма дисциплины в часах в учебном плане количество работ может быть изменено (сокращено или расширено).

Требования к оформлению практических работ

Отчет по практическим работам оформляется в рукописном или печатном варианте с использованием программ Word и Excel.

Содержание оформляемых работ:

1. Название работы.
2. Вариант индивидуального задания.
3. Цель работы.
4. Теоретические основы.
5. Таблица по исходным данным.
6. Ответы на вопросы, поставленные в практической части работы.
7. Оформить практическое задание в виде таблицы (при необходимости).

Практическая работа принимается у студента после проверки преподавателем правильности выполнения заданий. Работа зачтена, если студент показал достаточные знания по ее теоретической части, навыки по практическому заданию.

Практическая работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ НА РАЗЛИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Цель практической работы — изучение требований государственных стандартов, действующих на различные материалы, и получение навыков пользования информационными базами государственных стандартов.

Термины и определения

Стандартизация — деятельность, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области посредством установления положений для всеобщего и многократного использования в отношении реально существующих или потенциальных задач [3].

Объект стандартизации — продукция, процесс или услуга, подлежащие или подвергшиеся стандартизации, которые в равной степени относятся к любому материалу, компоненту и др. [3].

Нормативный документ — документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов [3].

Стандарт — нормативный документ, который разработан на основе консенсуса, признан соответствующим органом и устанавливает для всеобщего и многократного использования правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов, и который направлен на достижение оптимальной степени упорядочения в определённой области [3].

Государственный стандарт Российской Федерации — стандарт, принятый Государственным комитетом Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандартом России) или Государственным комитетом Российской Федерации по жилищной и строительной политике (Госстроем России) [3].

Вид стандарта — характеристика стандарта, определяющаяся его содержанием в зависимости от объекта стандартизации [3].

Стандарт на продукцию — стандарт, устанавливающий требования, которым должна удовлетворять продукция или группа однородной продукции, чтобы обеспечить ее соответствие своему назначению.

Структура (нормативного документа) — порядок размещения в нормативном документе разделов, подразделов, пунктов, подпунктов, таблиц, графического материала и приложений [3].

История развития человечества тесно связана с использованием материалов, начиная с готовых природных материалов для строительства домов (дерево, камень, глина), кончая современными композиционными материалами (металлокомпозиты, графен). В настоящее время в экономическом отношении материалы представляют собой продукцию. Оценка их соответствия требованиям

потребителей предполагает наличие обязательного взаимного договора об их качестве и методах испытания соответствующих свойств.

Мировая практика показала целесообразность функционирования такого договора в виде государственного стандарта [3].

Государственное управление стандартизацией в Российской Федерации, включая координацию деятельности государственных органов Российской Федерации, взаимодействие с органами власти республик в составе Российской Федерации, краев, областей (в том числе автономных областей и округов), городов, с общественными объединениями, в том числе с техническими комитетами по стандартизации, с субъектами хозяйственной деятельности, осуществляет Госстандарт России. Работы по стандартизации в области строительства организует Госстрой России [3].

Государственные стандарты разрабатываются на продукцию, работы и услуги, имеющие межотраслевое значение, их требования находятся во взаимосвязи с требованиями законодательства Российской Федерации.

Требования, устанавливаемые государственными стандартами на обеспечение безопасности продукции для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, обеспечение технической и информационной совместимости, взаимозаменяемости продукции, единства методов их контроля и единства маркировки, а также иные требования, установленные законодательством Российской Федерации, являются обязательными для соблюдения всеми государственными органами управления, субъектами хозяйственной деятельности. При этом соответствие продукции этим требованиям может определяться в порядке, установленном законодательством Российской Федерации о сертификации продукции и услуг [3].

Госстандарт России организует публикацию официальной информации об принятых государственных стандартах, общероссийских классификаторах технико-экономической информации, создает и ведет федеральный фонд государственных стандартов и общероссийских классификаторов, а также международных, региональных стандартов, правил, норм и рекомендаций по стандартизации, национальных стандартов зарубежных стран. Создание и пользование этим фондом осуществляются в установленном порядке [3].

Построение, изложение, оформление и содержание государственных стандартов Российской Федерации должны соответствовать требованиям ГОСТ Р1.5—2012.

Госстандарт России осуществляет создание и ведение информационных фондов, а также обеспечение заинтересованных потребителей информацией о государственных стандартах Российской Федерации, международных, региональных и национальных стандартах других стран, общероссийских классификаторах технико-экономической информации [3].

Информацию для потребителей государственных, межгосударственных и региональных стандартов Госстандарт России осуществляет путем ежегодного издания указателя «Государственные стандарты РФ». Все сведения в указателе приведены по состоянию на 1 января текущего года.

Государственные стандарты РФ размещены в указателе по разделам, классам

и группам в соответствии с требованиями Общероссийского классификатора стандартов ОК (МК (ИСО/ИНФКО МКС) 001—96) 001—2000. Обозначения стандартов внутри групп расположены по порядку возрастания номеров [3].

Практическая часть

Для выполнения практической работы каждый студент получает у преподавателя номер варианта задания, в котором указывается наименование конкретного материала (см. таблицу 1.1).

Задание включает два этапа:

- 1) составление перечня государственных стандартов на данный материал;
- 2) изучение одного из стандартов составленного перечня и его реферирование.

Перечень государственных стандартов следует составить с использованием указателя «Государственные стандарты Российской Федерации». Для каждого из стандартов перечня необходимо указать его обозначение и наименование.

Изучить стандарт и написать на него реферат. Объем реферата не должен превышать две страницы. Реферат должен кратко характеризовать содержание стандарта словами самой работы (стандарта). Переписывание текста стандарта не допускается.

Примечание: следует обращать внимание на дату введения в действие стандарта, если в стандарт внесены изменения или стандарт заменён, задание выполняется по последней редакции ГОСТ.

Пример выполнения практического задания:

ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия

1 Перечень Государственных стандартов на щебень и гравий:

ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний

ГОСТ 8269.1-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы химического анализа.

ГОСТ 3344-83 Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия

2 ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 8267-93 даёт определения щебня и гравия из горных пород. Это природный неорганический материал крупностью свыше 5 мм. Щебень получают дроблением горных пород, гравий – рассевом природных гравийно-

песчаных смесей.

Выпускаемый щебень и гравий должны соответствовать следующим техническим требованиям:

1) зерновой состав: щебень и гравий выпускают следующих фракций: 5-10 мм; 10-15 мм; 10-20 мм; 15-20 мм; 20-40 мм; 40-80(70) мм и смеси фракций 5(3)-20 мм. По согласованию с потребителем, щебень и гравий может выпускаться 80(70)-120 мм и 120-150 мм.;

2) содержание дроблёных зёрен и форма зерна: дроблёные зёрна в щебне из гравия должны составлять не менее 80% по массе (допускается 60% по согласованию с потребителем); содержание в щебне зёрен пластинчатой и игловатой формы должно составлять не более 35% по массе;

3) прочность щебня и гравия определяется по дробимости при раздавливании в цилиндре, а для щебня и гравия, предназначенного для строительства автомобильных дорог, дополнительно определяется марка по истираемости в полочном барабане;

4) содержание зёрен слабых пород в щебне и гравии в зависимости от марки по дробимости должно составлять 5-15%;

5) морозостойкость: оценивается по числу циклов замораживания и оттаивания и по потере массы в %, марки щебня и гравия по морозостойкости: F15, F25, F50, F100, F150, F200, F300, F400;

6) содержание пылевидных и глинистых частиц (размером менее 0,05 мм) в щебне и гравии в зависимости от марки по дробимости должно составлять 1-3%;

7) устойчивость против всех видов распадов: воздействию окружающей среды, стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента, если щебень и гравий предназначены для применения в качестве заполнителей для бетонов;

8) радиационно-гигиеническая оценка $A_{эфф}$ (суммарная удельная эффективная активность естественных радионуклидов), по результатам которой устанавливают область применения.

Для проверки соответствия качества щебня (гравия) требованиям настоящего стандарта проводят приемочный контроль и периодические испытания. Ежедневно определяют: зерновой состав, содержание пылевидных и глинистых частиц, содержание глины в комках, содержание зерен слабых пород. При периодических испытаниях определяют: один раз в 10 суток - содержание зерен пластинчатой и игловатой формы и содержание дробленых зерен в щебне; один раз в квартал - прочность и насыпную плотность, устойчивость структуры против распадов; один раз в год - морозостойкость и класс щебня (гравия) по значению удельной эффективной активности естественных радионуклидов.

Щебень и гравий перевозят навалом в транспортных средствах любого вида (автомобильным, железнодорожным и водным транспортом).

Щебень и гравий хранят отдельно по фракциям и смесям фракций в условиях, предохраняющих их от засорения и загрязнения.

Вывод: ГОСТ 8267-93 содержит качественные характеристики щебня (гравия), что необходимо для правильного и эффективного его применения.

Таблица 1

Варианты заданий для практической работы №1
«Изучение государственных стандартов на различные материалы»

Вариант	Материал	Обозначение стандарта
1	металлы	ГОСТ 805-95 Чугун переклассифицированный. Технические условия
2	бетоны	ГОСТ 5578-94 Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия
3	древесина	ГОСТ 15812-87 Древесина клееная слоистая. Термины и определения
4	резина	ГОСТ 28009-88 Ленты конвейерные резиноканавчатые общего назначения. Методы испытаний.
5	металлы	ГОСТ 801-78 Сталь подшипниковая. Технические условия
6	пластмассы	ГОСТ 24105-80 Изделия из пластмасс. Термины и определения дефектов
7	битум	ГОСТ 9812-74 Битумы нефтяные изоляционные. Технические условия
8	металлы	ГОСТ 4832-95 Чугун литейный. Технические условия
9	сплавы	ГОСТ 4411-79 Изделия твердосплавные для горного инструмента. Технические условия
10	металлы	ГОСТ Р 50724.1-94 Ферросплавы. Материалы. Термины и определения
11	цемент	ГОСТ 5382 Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа
12	древесина	ГОСТ 17462-84 Продукция лесозаготовительной промышленности. Термины и определения
13	горные породы	ГОСТ 30330-95 Породы горные. Термины и определения
14	бетон	ГОСТ ISO 21592-2013 Машины и оборудование строительные. Машины для торкретирования бетонной смеси. Терминология и технические условия
15	керамика	ГОСТ 26630-85 (СТ СЭВ 4814-84) Материалы керамические инструментальные. Марки
16	металлы	ГОСТ Р 55731-2013 Оборудование горно-шахтное. Крепи металлические податливые рамные. Крепь кольцевая. Общие технические условия

Продолжение таблицы 1

Вариант	Материал	Обозначение стандарта
17	металлы	ГОСТ 1583-93 Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия
18	пласт массы	ГОСТ 5-78 Текстолит и асботекстолит конструкционные. Технические условия
19	смазочные материалы	ГОСТ 1033-79 Смазка солидол жировой. Технические условия
20	глина	ГОСТ 7032-75 Глина бентонитовая для тонкой и строительной керамики
21	металлы	ГОСТ 28394-89 Чугун с вермикулярным графитом для отливок. Марки
22	битум	ГОСТ 11955-82 Битумы нефтяные дорожные жидкие. Технические условия
23	стекло	ГОСТ 111-2014 Стекло листовое бесцветное. Технические условия
24	древесина	ГОСТ 20022.1-90 Защита древесины. Термины и определения
25	бетоны	ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний
26	бумага	ГОСТ 17052-86 Производство бумаги и картона. Термины и определения
27	металлы	ГОСТ 849-2008 Никель первичный. Технические Условия
28	керамика	ГОСТ 28389-89 Изделия фарфоровые и фаянсовые. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение
29	сплавы	ГОСТ 14957-76 Сплавы магниевые деформируемые. Марки
30	смазочные материалы	ГОСТ 28576-90 Нефтепродукты и смазочные материалы. Общая классификация. Обозначение классов.
31	металлы	ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки
32	пласт массы	ГОСТ 24888-81 Пластмассы, полимеры и синтетические смолы. Химические наименования термины и определения

Практическая работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Цель практической работы — изучить методы определения твёрдости различных материалов, определить твёрдость металлов по методу Бринелля. По твёрдости НВ определить временное сопротивление разрыву для пластичных металлов и сплавов.

Термины и определения

Твёрдость как свойство проявляется при взаимодействии различных материалов в машинах и механизмах, а также в технологических процессах по обработке и разрушению материалов механическими способами. Показатель твёрдости на практике используется для правильного выбора материала обрабатываемых инструментов (резца, сверла, фрезы) и устройств, таких как пресса, буровые долота, перфораторы.

Твёрдость – свойство материала сопротивляться упругой и пластической деформации или разрушению при внедрении в него другого, более твёрдого тела.

Твёрдость в значительной степени зависит от состава материала, его температуры нагрева и предварительной технологической обработки (отжиг, закалка, механическое упрочнение) [2].

Существующие методы измерения твёрдости в зависимости от скорости приложения нагрузки подразделяют на статические и динамические, а по способу её приложения – на методы вдавливания и царапания.

Статическим методом измерения твёрдости материалов называется такой, при котором индентор медленно и непрерывно вдавливается в испытуемый материал с определённой силой. Этот метод получил наибольшее распространение, особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что при испытаниях возникают главным образом касательные напряжения, а доля растягивающих напряжений незначительна.

Инденторы изготавливают из малодеформирующегося материала (закалённая сталь, алмаз или твёрдый сплав), они могут иметь форму шарика, конуса, призмы.

Динамический метод измерения твёрдости материалов основан на измерении высоты отскока бойка после его удара о поверхность испытуемого материала. Динамические методы измерения твердости не приводят к возникновению дефектов поверхности изделий.

Метод царапания широко используется в геологии и горном деле для определения твёрдости минералов, где сравнивают твердость исследуемого и эталонного минерала. В качестве эталонов приняты 10 минералов (шкала относительной твердости Мооса), расположенных в порядке возрастания их твердости:

1 - тальк, 2 - гипс, 3 - кальцит, 4 - флюорит, 5 - апатит,

6 - ортоклаз, 7 - кварц, 8 - топаз, 9 - корунд, 10 - алмаз.

Область применения различных методов измерения твёрдости зависит от особенностей испытуемого материала и толщины образцов. Для пластичных материалов (чёрные и цветные металлы, их сплавы, пластмассы, композиты) используются стандартные методы определения твёрдости: Бринелля, Роквелла, Виккерса.

Измерение твёрдости по Бринеллю

Метод Бринелля применяют только для пластичных материалов (железо, отожжённая сталь, графитизированные чугуны, цветные металлы и сплавы). По этому способу в проверяемый образец под действием нагрузки P вдавливают шарик из закалённой стали. Испытание проводят на прессе Бринелля (рис. 2.1). После снятия нагрузки на поверхности образца остаётся отпечаток, диаметр d которого измеряют с помощью микроскопа (лупы) Бринелля с точностью $\pm 0,05$ мм.

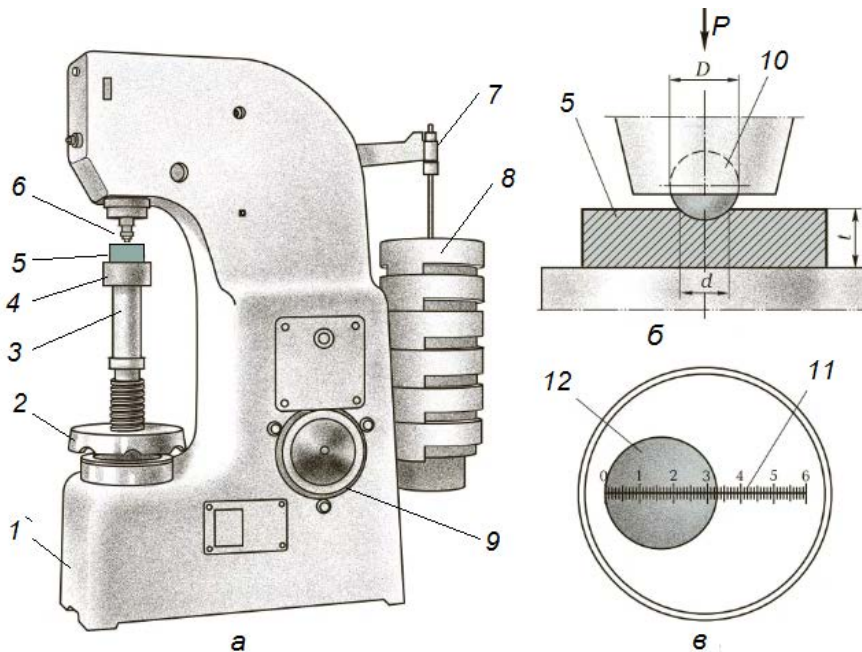


Рис. 2.1. Испытание на твердость по методу Бринелля:
а) прибор типа ТШ; б) схема вдавливания шарика в образец;
в) определение диаметра отпечатка.

1 – станина; 2 – маховик для перемещения винта; 3 – винт;
4 – сменный столик; 5 – испытуемый образец; 6 – шпиндель со сменными наконечниками; 7 – подвеска; 8 – грузы; 9 – переключатель; 10 – шарик;
11 – лупа Бринелля; 12 – отпечаток.

Число твердости по Бринеллю определяется величиной нагрузки P , деленной на сферическую поверхность отпечатка. Чем меньше диаметр отпечатка, тем выше твердость металла. Твёрдость определяют по формуле 2.1

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.1)$$

где P – нагрузка кГ;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

Выбирают диаметр шарика D из трёх стандартных значений (10; 5; 2,5 мм) так, чтобы он был меньше или равен толщине образца или его поперечному размеру – для высоких и узких деталей.

Твердость обозначается HB с записью 125 HB или более подробно – 125 HB 10/3000/10. Здесь указаны условия измерения $D = 10$ мм, $P = 3000$ кГ, время нагружения 10 с. Используется этот метод для сравнительно мягких материалов с твердостью до 450 HB (при большей твердости материала есть опасение возможной деформации шарика).

Предел прочности σ_B и число твердости по Бринеллю материала, выраженные в одних единицах, связаны между собой.

Временное сопротивление или предел прочности – это напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца. По твердости HB можно определить временное сопротивление разрыву (предел прочности) пластичных металлов и сплавов, используя следующие эмпирические зависимости:

для стали с твердостью 90... 175 HB $\sigma_B = 0,34 HB$

175...450 HB $\sigma_B = 0,35 HB$

для медных сплавов $\sigma_B = 0,45 HB$,

для отожжённой меди, латуни, бронзы $\sigma_B = 0,55 HB$

для наклепанной меди, латуни, бронзы $\sigma_B = 0,40 HB$

для алюминиевых сплавов $\sigma_B = 0,35 HB$.

для отожжённого дуралюмина $\sigma_B = 0,56 HB$

для дуралюмина после закалки и старения $\sigma_B = 0,30 HB$.

Измерение твердости по Роквеллу

При испытании по методу Роквелла индентором служит алмазный конус с углом 120° , а для более мягких материалов – стальной закаленный шарик диаметром 1,59 мм. Индентор вдавливают в металл двумя последовательными нагружениями: предварительным при $P_0 = 100$ Н и основном при P_1 (рис. 2.2). Общая нагрузка P равна их сумме.

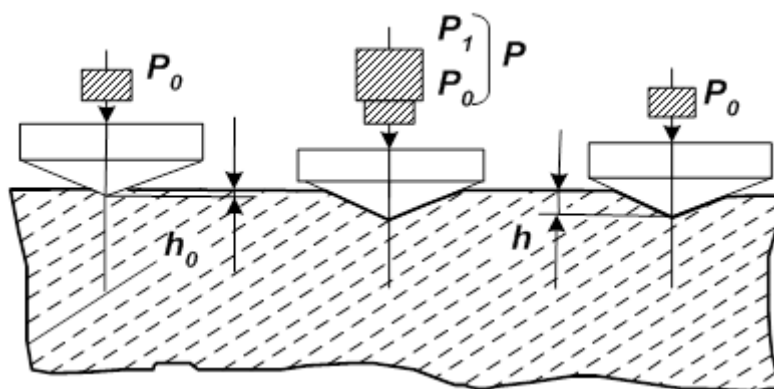


Рис. 2.2. Испытание на твердость по методу Роквелла

Числовые значения общей нагрузки и обозначения твёрдости приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Испытание на твердость по методу Роквелла

Шкала	Форма индентора	Предварительное нагружение P_0 , Н	Основное нагружение P_1 , Н	Общая нагрузка P , Н	Обозначение твёрдости
С	конус	100	1400	1500	HRC
А	конус	100	500	600	HRA
В	шар	100	900	1000	HRB

Число твердости по Роквеллу – безразмерная величина, связанная с глубиной вдавливания h (мкм) зависимостью, ее обозначают в зависимости от условий испытания:

$$HRC = 100 - \frac{h}{2} \quad (2.1)$$

Определение твердости по Роквеллу дает возможность испытывать твердые и мягкие материалы; при этом отпечатки от конуса или шарика очень малы, поэтому можно испытывать готовые детали без их порчи. Испытание выполняется быстро (30 – 60 с), не требует никаких измерений – число твердости читается прямо на шкале (по стрелочному индикатору). Угловое перемещение стрелки индикатора на одно деление, соответствующее одной сотой окружности циферблата, отвечает 2 мкм изменения глубины вдавливания конуса. Значения твердости по Роквеллу можно перевести в значения твердости по Бринеллю.

Измерение твёрдости по Виккерсу

Испытания по методу Виккерса используют для деталей малой толщины или тонких поверхностных слоев проводят вдавливанием правильной четырехгранной пирамиды под действием нагрузки P с измерением диагонали отпечатка d (рис. 2.3). Нагрузка (от 10 до 1000Н) выбирается в зависимости от толщины испытуемого материала. Чем тоньше материал, тем меньше должна быть прилагаемая нагрузка.

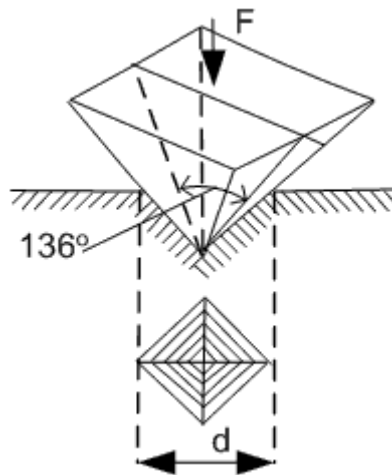


Рис. 2.3. Испытание на твердость по методу Виккерса

Число твердости определяют с помощью специальных таблиц по величине d . Обозначается HV. Числа твердости до 400 HV единиц совпадают с числами твердости HB (по Бринеллю), а при твердости более 400 HV они превышают числа твердости HB и тем больше, чем выше твердость.

Измерение твёрдости по Шору

Для измерения твердости крупногабаритных и тяжелых изделий иногда используют метод упругого отскока бойка - метод Шора. Применяют переносной прибор склероскоп, снабженный трубкой, внутри которой свободно падает боек массой 2,5 г с алмазным наконечником радиусом 1,25 мм (рис.2.4).

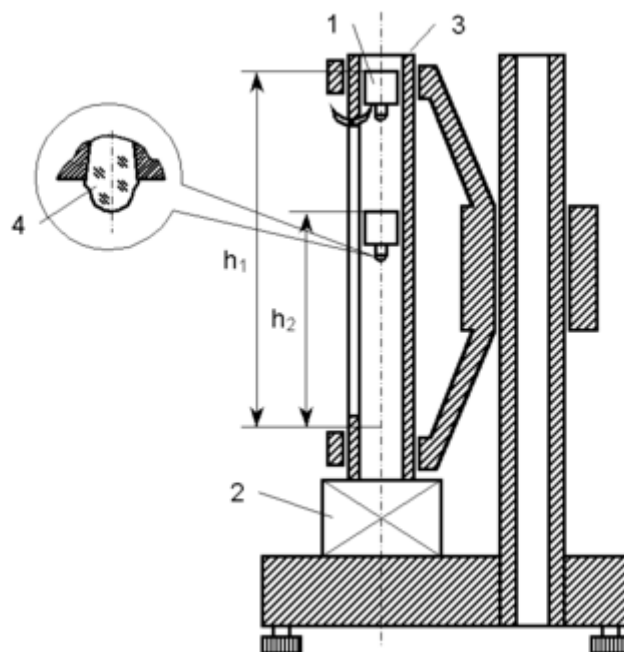


Рис. 2.3 Схема склероскопа Шора

1 – боёк, 2 – испытуемый образец, 3 – трубка склерометра, установленная на штатив, 4 – алмазный наконечник бойка, h_1 – высота падения бойка, h_2 – высота отскока бойка.

Шкала прибора имеет 140 равных делений. Нормируемая высота отскока бойка соответствует 100 делениям. Цена деления не более 1-й единицы твердости по Шору

Твердость обозначается HSD и оценивается в условных единицах, пропорциональных высоте отскока бойка. Чем мягче испытуемый материал, тем меньше будет высота отскока, так как больше энергии удара будет расходоваться на остаточную деформацию материала детали. Достоинства метода – простота, высокая производительность, возможность проверки шлифованных деталей без заметного ухудшения качества поверхности. К недостаткам метода следует отнести то, что метод не дает точных показаний, так как высота отскакивания бойка зависит от толщины металла, от степени шероховатости его поверхности.

Практическая часть

Для выполнения практической работы каждый студент получает у преподавателя номер варианта задания (табл.2.2).

Необходимо:

- 1) дать определение твердости и пределу прочности; подробно описать один из методов определения прочности (указанный в задании варианта);
- 2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля;
- 3) вычислить предел прочности сплава по значению твердости HB.

Пример выполнения расчётной части практического задания

Необходимо вычислить твердость по Бринеллю по исходным данным для трёх различных сплавов, если известен диаметр шарика D , прилагаемая нагрузка и диаметр отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхности образца.

ДАНО: диаметр шарика $D = 10$ мм;

нагрузка при испытании составляет $P = 30 D^2$, кгс;

диаметр отпечатка шарика на поверхности образца после испытания $d = 3$ мм.

РЕШЕНИЕ.

Необходимо найти: твердость HB .

Задача решается арифметическим методом. Твердость по Бринеллю выражается отношением приложенной нагрузки P к площади сферической поверхности отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхность образца:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}.$$

Вычислим прилагаемую нагрузку:

$$P = 30 D^2, \text{ кгс}$$

$$P = 30 \cdot 10^2 = 3000 \text{ кгс}$$

Вычислим твердость:

$$\begin{aligned} HB &= 2 \cdot 3000 / 3,14 \cdot 10 \cdot [10 - (10^2 - 3^2)^{1/2}] = \\ &= 6000 / 31,4 \cdot (10 - 9,54) = 6000 / 31,4 \cdot 0,46 = 415,4 \text{ HB} \end{aligned}$$

Запишем полученный ответ: твердость – 415,4 HB.

Необходимо вычислить предел прочности образца из медного сплава, если его твердость равна 308 HB.

ДАНО: твердость медного сплава равна 308 HB

РЕШЕНИЕ.

Чтобы ответить на вопрос задачи, необходимо знать зависимость между временным сопротивлением (МПа) и числом твердости HB медных сплавов.

Временное сопротивление и число твердости по Бринеллю связаны между собой: для медных сплавов $\sigma_B = 0,45 HB$.

Задачу решаем арифметическим методом. Вычислим временное сопротивление, МПа: $\sigma_B = 0,45 \cdot 308 = 138,6$.

Запишем полученный ответ: временное сопротивление - $\sigma_B = 138,6$ МПа.

Таблица 2.2

Варианты для практической работы №2 «Определение твёрдости материалов»

Вариант	Задание		
1	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Бринеллю		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	4,16
	5	10 D ²	1,80
	2,5	2,5 D ²	0,805
	3) вычислить предел прочности аустенитной стали, если её твёрдость 330HB		
2	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Виккерсу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	4,80
	5	10 D ²	2,50
	2,5	2,5 D ²	1,143
	3) вычислить предел прочности отожжённой меди, если её твёрдость 240HB		
3	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Шору		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	5,43
	5	10 D ²	1,83
	2,5	2,5 D ²	1,03
	3) вычислить предел прочности отожжённого дуралюмина, если его твёрдость 420HB		
4	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Роквеллу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	5,72
	5	10 D ²	1,53
	2,5	2,5 D ²	0,745
	3) вычислить предел прочности стали, если её твёрдость 180 HB		

Вариант	Задание		
5	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Бринеллю		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,52
	5	10 D ²	2,02
	2,5	2,5 D ²	1,493
	3) вычислить предел прочности медного сплава, если его твёрдость 80 HB		
6	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Виккерсу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	2,91
	5	10 D ²	1,55
	2,5	2,5 D ²	0,75
	3) вычислить предел прочности алюминиевого сплава, если его твёрдость 45 HB		
7	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Шору		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	2,92
	5	10 D ²	1,55
	2,5	2,5 D ²	0,748
	3) вычислить предел прочности стали, если её твёрдость 90 HB		
8	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Роквеллу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	2,93
	5	10 D ²	1,555
	2,5	2,5 D ²	0,75
	3) вычислить предел прочности наклёпанной бронзы, если её твёрдость 117 HB		

Вариант	Задание		
9	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Бринеллю		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	$30 D^2$	4,08
	5	$10 D^2$	1,575
	2,5	$2,5 D^2$	1,068
	3) вычислить предел прочности дуралюмина после закалки, если его твёрдость 160НВ		
10	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Виккерсу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	$30 D^2$	5,21
	5	$10 D^2$	1,595
	2,5	$2,5 D^2$	1,482
	3) вычислить предел прочности стали, если её твёрдость 380НВ		
11	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Шору		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	$30 D^2$	3,62
	5	$10 D^2$	2,79
	2,5	$2,5 D^2$	0,748
	3) вычислить предел прочности медного сплава, если его твёрдость 100НВ		
12	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Роквеллу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	$30 D^2$	5,72
	5	$10 D^2$	1,53
	2,5	$2,5 D^2$	0,745
	3) вычислить предел прочности алюминиевого сплава, если его твёрдость 130 НВ		

Вариант	Задание		
13	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Бринеллю		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,03
	5	10 D ²	2,66
	2,5	2,5 D ²	1,50
	3) вычислить предел прочности стали, если её твёрдость 120НВ		
14	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Виккерсу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	4,37
	5	10 D ²	1,59
	2,5	2,5 D ²	0,76
	3) вычислить предел прочности медного сплава, если его твёрдость 170НВ		
15	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Шору		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,85
	5	10 D ²	2,955
	2,5	2,5 D ²	1,035
	3) вычислить предел прочности алюминиевого сплава, если его твёрдость 85НВ		
16	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Роквеллу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	5,45
	5	10 D ²	1,87
	2,5	2,5 D ²	0,753
	3) вычислить предел прочности стали, если её твёрдость 320 НВ		

Вариант	Задание		
17	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Бринеллю		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,15
	5	10 D ²	2,47
	2,5	2,5 D ²	1,393
	3) вычислить предел прочности медного сплава, если его твёрдость 200 HB		
18	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Виккерсу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,53
	5	10 D ²	2,945
	2,5	2,5 D ²	0,965
	3) вычислить предел прочности алюминиевого сплава, если его твёрдость 65HB		
19	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Шору		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,20
	5	10 D ²	2,225
	2,5	2,5 D ²	0,783
	3) вычислить предел прочности отожжённой бронзы, если её твёрдость 340HB		
20	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Роквеллу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	5,84
	5	10 D ²	2,015
	2,5	2,5 D ²	0,878
	3) вычислить предел прочности наклёпанной латуни, если её твёрдость 130 HB		

Вариант	Задание		
21	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Бринеллю		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,59
	5	10 D ²	1,975
	2,5	2,5 D ²	1,468
	3) вычислить предел прочности дуралюмина после закалки, если его твёрдость 370HB		
22	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Виккерсу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	4,39
	5	10 D ²	2,645
	2,5	2,5 D ²	0,938
	3) вычислить предел прочности стали, если её твёрдость 450HB		
23	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Шору		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	4,08
	5	10 D ²	2,385
	2,5	2,5 D ²	1,495
	3) вычислить предел прочности бронзы, если её твёрдость 150HB		
24	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Роквеллу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	2,99
	5	10 D ²	1,755
	2,5	2,5 D ²	1,343
	3) вычислить предел прочности алюминиевого сплава, если его твёрдость 45 HB		

Вариант	Задание		
25	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Бринеллю		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	4,79
	5	10 D ²	1,86
	2,5	2,5 D ²	1,384
	3) вычислить предел прочности дуралюмина после закалки, если его твёрдость 260 НВ		
26	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Виккерсу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,87
	5	10 D ²	2,48
	2,5	2,5 D ²	0,778
	3) вычислить предел прочности отожжённой латуни, если её твёрдость 70НВ		
27	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Шору		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	5,30
	5	10 D ²	2,335
	2,5	2,5 D ²	0,958
	3) вычислить предел прочности стали обыкновенного качества, если её твёрдость 50НВ		
28	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Роквеллу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	4,61
	5	10 D ²	2,82
	2,5	2,5 D ²	0,843
	3) вычислить предел прочности алюминиевого сплава, если его твёрдость 100 НВ		

Вариант	Задание		
29	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Бринеллю		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,77
	5	10 D ²	2,87
	2,5	2,5 D ²	1,023
	3) вычислить предел прочности наклёпанной латуни, если её твёрдость 165НВ		
30	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Виккерсу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	3,17
	5	10 D ²	2,62
	2,5	2,5 D ²	1,163
	3) вычислить предел прочности алюминиевого сплава, если его твёрдость 65 НВ		
31	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Шору		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	5,88
	5	10 D ²	2,45
	2,5	2,5 D ²	1,265
	3) вычислить предел прочности перлитной стали, если её твёрдость 150НВ		
32	1) дать определения твёрдости, пределу прочности; описать метод определения прочности по Роквеллу		
	2) определить твердость для трёх сплавов методом Бринелля		
	D, мм	P, кгс	d, мм
	10	30 D ²	2,89
	5	10 D ²	1,55
	2,5	2,5 D ²	1,355
	3) вычислить предел прочности отожжённой меди, если её твёрдость 120 НВ		

Практическая работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ «ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ» Fe – Fe₃C

Цель работы – изучить диаграмму состояния «железо-цементит», провести анализ превращений при образовании фаз и структур, определить весовое количество фаз при заданной температуре.

Термины и определения

Диаграмма состояния – это графическое изображение состояния сплава в зависимости от температуры и концентрации компонентов. Диаграммы состояния показывают равновесные состояния, то есть такие, которые обладают минимальной свободой энергий [2].

Диаграмма состояния позволяет изучать фазы и структурные составляющие сплава. Пользуясь диаграммой состояния можно определять при любой температуре нагрева сплава число составляющих фаз, их состав и количественное соотношение, температуры начала и конца плавления. Используя диаграмму состояния сплава, можно установить возможность проведения термической обработки и её режимы, температуру литья и горячей пластической деформации.

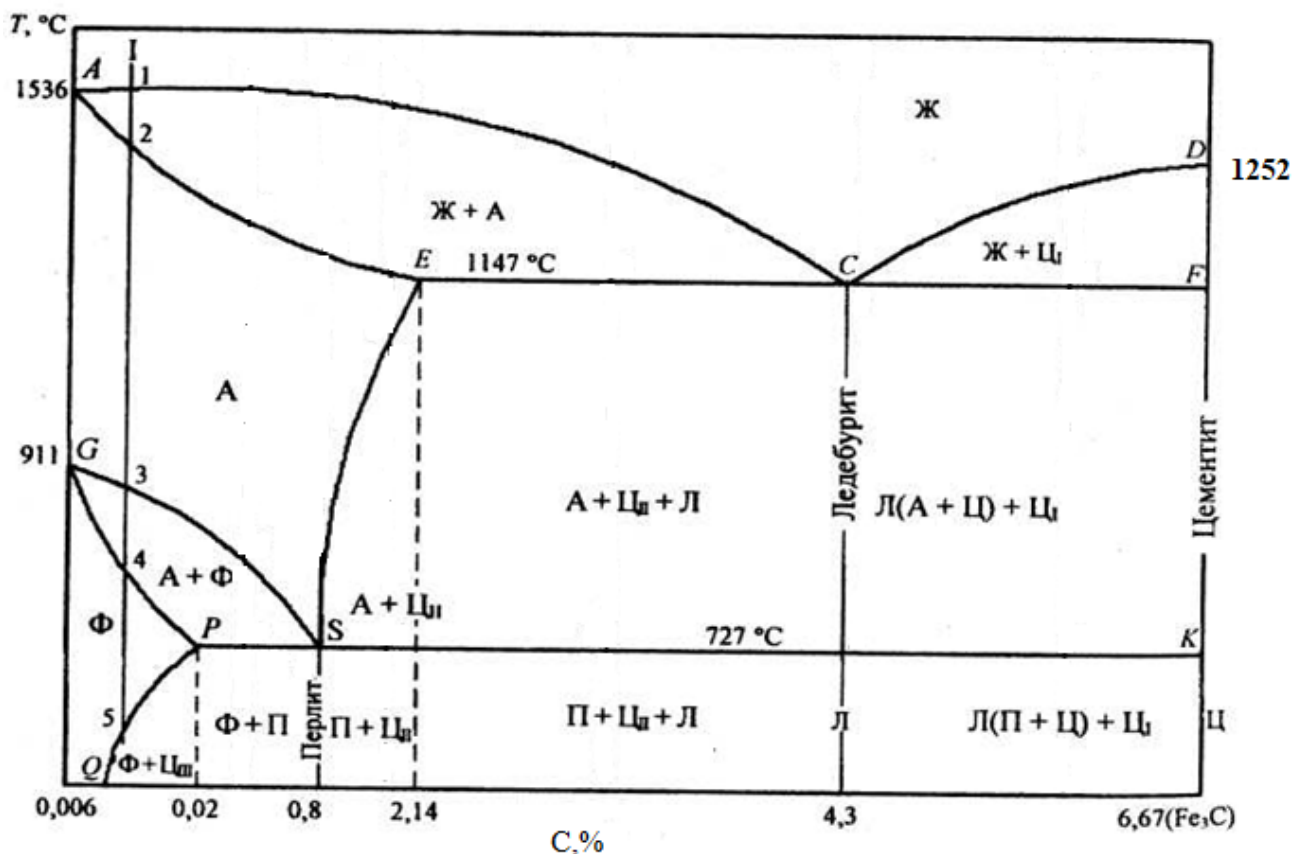


Рисунок 3.1 Диаграмма состояния Fe – Fe₃C

На диаграмме состояния железо – цементит рассматриваются процессы кристаллизации железоуглеродистых сплавов (стали и чугуна) и превращения в их структурах при медленном охлаждении до комнатной температуры. Диаграмма (рис.3.1) показывает фазовый состав и структуру сплавов с концентрацией от чистого железа до цементита.

Диаграмму состояния железо – цементит изображают только до 6,67% С (100 % Fe₃C), так как все сплавы с большим содержанием углерода, вследствие своей хрупкости не имеют практического применения.

Систему образуют *четыре однофазные области*:

- жидкого раствора углерода в железе (**Ж**),
- аустенита (**А**)
- феррита (**Ф**)
- цементита (**Ц**).

Аустенит — твердый раствор внедрения атомов углерода в γ -железе, имеющий предельную растворимость углерода — 2,14%. Аустенит немагнитен, имеет твёрдость 160 - 200НВ при пластичности $\delta = 50\%$.

Феррит — твердый раствор внедрения атомов углерода в α -железо. При температуре $t = 727^\circ\text{C}$ в феррите растворяется до 0,02 % С, при $t = 0^\circ\text{C}$ растворимость углерода — 0,006%. Феррит ферромагнетик, имеет твёрдость 80НВ, пластичность $\delta = 40\%$, $\sigma_b = 250$ МПа.

Цементит Fe₃C — химическое соединение железа с углеродом (карбид железа) с концентрацией углерода 6,67%, имеющее высокую твёрдость (800НВ), но хрупкое.

Диаграмма состояния железо – цементит имеет *пять двухфазных областей*:

- кристаллы феррита и аустенита (**GSP**)
- жидкий раствор и кристаллы аустенита (**ACE**)\
- жидкий раствор и кристаллы цементита (**CDF**)\
- кристаллы аустенита и цементита (**SECFK**);
- кристаллы феррита и цементита (**QPSK**).

Трехфазным равновесным состояниям сплавов отвечают горизонтальные линии на диаграмме состояния.

При 1147°C по линии **ЕСF** происходит *эвтектическое превращение*: из жидкости состава точки **С** одновременно выделяются кристаллы аустенита состава **Е** и цементита состава **F**, которые в совокупности образуют эвтектику - ледебурит:



Эвтектика (греч. — легко плавящийся) — структурная составляющая сплава, представляющая собой механическую смесь фаз, образующуюся при одновременной кристаллизации двух (или более) фаз из расплава.

Ледебурит - это механическая смесь кристаллов аустенита и цементита, содержащая 4,3% С, полностью переходящая в жидкое состояние при минимальной для системы Fe-Fe₃C температуре, равной 1147°C.

По линии **PSK** при 727°C происходит *эвтектоидное* превращение - перекристаллизация аустенита в эвтектоид перлит и наоборот:



Эвтектоид – структурная составляющая сплава, представляющая собой механическую смесь фаз, образующуюся при одновременной вторичной кристаллизации двух (или более) фаз из твёрдого раствора.

Перлит - механически и смесь феррита и цементита, содержащая 0,8% С, образующаяся при охлаждении из аустенита при минимальной для системы Fe-Fe₃C температуре, равной 727 °С.

На диаграмме крайние точки на оси абсцисс соответствуют чистому железу и цементиту. Точка **A** соответствует температуре плавления железа $T_{пл} = 1536$ °С, точка **D** - температуре плавления цементита $T_{пл} = 1252$ °С. Линия **ACD** - ликвидус, **AECF** - солидус.

Ликвидус (жидкий) – линия на диаграмме состояния, соединяющая точки начала кристаллизации сплава.

Солидус (твёрдый) - линия на диаграмме состояния, соединяющая точки конца кристаллизации сплава с различным содержанием компонентов.

Затвердевание жидкого сплава начинается при температурах, соответствующих линии ликвидуса **ACD**. Линия солидуса **AECF** соответствует температурам конца затвердевания. При температурах, соответствующих линии **АС**, из жидкого сплава кристаллизуется аустенит (**A**), а линии **CD** – цементит, называемый первичным цементитом (**Ц_I**). В точке **C** при 1147 °С и содержании углерода 4,3 % из жидкого сплава одновременно кристаллизуется аустенит и первичный цементит (**A+Ц_I**), образуя эвтектику – ледебурит (**Л**). При температурах (1536 - 1147°C), соответствующих линии солидуса **AE**, сплавы с содержанием углерода до 2,14 % окончательно затвердевают с образованием аустенита (**A**). На линии **ECF** (линия эвтектического превращения (1147°C) сплавы с содержанием углерода от 2,14 до 6,67 % окончательно затвердевают с образованием эвтектики (ледебурита **Л**) и структур, образовавшихся ранее из жидкого состояния, а именно: в интервале 2,14 - 4,3 % С – аустенита (**A**), а в интервале 4,3-6,67 % С – первичного цементита. (**Ц_I**).

Железо обладает **полиморфизмом**, способность существовать в различных кристаллических формах. При полиморфном превращении меняется форма и тип кристаллической решётки. Это явление называется *перекристаллизацией*. Так при температуре ниже 911°C устойчиво **α-Fe** с решёткой ОЦК (объемно-центрированной кубической), в интервале температур 911-1392 °С устойчиво **γ-Fe** с решёткой ГЦК (гранецентрированной кубической). Для интервала температур 1392-1539 °С **α-Fe** с решёткой ОЦК обозначают как **δ-Fe** – его высокотемпературная полиморфная модификация.

Полиморфное превращение сопровождается скачкообразным изменением плотности, объёма, теплоемкости, магнитных свойств железа. Так плотность **γ-Fe** на 3% больше плотности **α-Fe**.

Железо отличается *ферромагнетизмом* - способностью хорошо намагничиваться. Но при нагреве постепенно теряются его ферромагнитные свойства. Температура 768°C названа **точкой Кюри** - температура при которой

происходит полная потеря ферромагнитных свойств железа (немагнитное $\alpha\text{-Fe}$ называют $\beta\text{-Fe}$). При магнитных превращениях происходит изменение не в кристаллической структуре металла, а во взаимодействии внешних и внутренних электронных оболочек атомов.

При охлаждении сплавов при температурах, соответствующих линиям **GSE**, **PSK** и **GPQ** происходят превращения в твердом состоянии. Превращения в твердом состоянии происходят вследствие полиморфного превращения $\gamma\text{-Fe}$ в $\alpha\text{-Fe}$ и в связи с понижением растворимости углерода в аустените (**A**) и феррите (**Ф**). С понижением температуры избыток углерода выделяется из твердого раствора в виде цементита.

В области диаграммы **AGSE** находится аустенит (**A**). При охлаждении сплавов до температур, соответствующих линии **GS** (911-727°C), аустенит (**A**) распадается с выделением феррита (**Ф**). А при температуре ниже линии **SE** из аустенита (**A**) выделяется вторичный цементит (**Ц_{II}**). В области диаграммы **GSP** находится смесь феррита и аустенита (**Ф+A**). Ниже линии **GP** существует только феррит (**Ф**). При дальнейшем охлаждении до температур, соответствующих линии **PQ** (727-0 °C) из феррита выделяется третичный цементит (**Ц_{III}**). Этот процесс вызван уменьшением растворимости углерода в феррите. Конечная структура будет двухфазной: феррит и третичный цементит (**Ф+ Ц_{III}**). Цементит располагается в виде прослоек на границах ферритных зёрен и ухудшает технологическую пластичность.

В точке **S** при температуре 727°C и содержании 0,8 % C весь аустенит (**A**) распадается и превращается в механическую смесь феррита и цементита – *перлит* (**П**). В любом сплаве системы при температурах, соответствующих линии **PSK** (линия эвтектоидного превращения 727°C), происходит распад оставшегося аустенита (**A**) с образованием перлита (**П**).

На диаграмме состояния железо–углерод сплавы, находящиеся левее точки **E** (менее 2,14 % C), называются *сталями*. Сплавы, находящиеся правее точки **E** (от 2,14 % до 6,67 % C), называются *чугунами*.

Стали, описываемые диаграммой состояния железо-цементит, по структуре в равновесном состоянии классифицируются на: *доэвтектоидную сталь*, содержащую от 0,02 до 0,8 % C; *эвтектоидную сталь*, содержащую 0,8 % C; *заэвтектоидную сталь*, содержащую более 0,8 % C. Сплав, содержащий до 0,02 % C, называется *техническим железом*.

Анализ структурного состава сплава

Формирование структур в сплавах можно изучить, анализируя по диаграмме процессы, происходящие в них при охлаждении или нагревании. Проследим за формированием структуры сплава по линии **I** при охлаждении (рис. 3.1).

Сплавы по **линии I** (см. рис. 3.1) представляет собой техническое железо, так как содержание углерода в нём $C < 0,02$ %. Точки 1 и 2 - начало и окончание выделения из жидкости кристаллов аустенита (**A**). Между ними двухфазная область **Ж + A**. Между точками 2 и 3 однофазная область **A** без

превращений. В точке 3 начинается, а в точке 4 заканчивается переход аустенита в феррит. Это двухфазная область **А + Ф**. Между точками 4 и 5 однофазная область **Ф** без превращений. В точке 5 при дальнейшем охлаждении сплава из феррита выделяется третичный цементит (**Ф + Ц_{III}**).

Для удобного прочтения структурный анализ и фазовый состав можно представить в виде таблицы.

Таблица 3.1

Структурный состав сплава с содержанием углерода $C=0,008\%$

Номер области	Состав фаз и структурных составляющих	Температурный режим охлаждения
1	Ж = 100% (жидкий раствор)	$t > 1539^{\circ}\text{C}$
1-2	Ж + А (жидкий раствор + аустенит) начало и окончание выделения из жидкости кристаллов аустенита	$t = 1539 - 1200^{\circ}\text{C}$
2-3	А = 100% (аустенит)	$t = 1200 - 875^{\circ}\text{C}$
3-4	А + Ф. (аустенит + феррит) начало и окончание перехода аустенита в феррит	$t = 875 - 780^{\circ}\text{C}$
4-5	Ф = 100% (феррит)	$t = 780 - 300^{\circ}\text{C}$
5	Ф + Ц _{III} (феррит + цементит третичный) начало выделения третичного цементита	$t = 300 - 0^{\circ}\text{C}$

Составы и количества фаз в системе «железо — цементит» необходимо определить на коноде с помощью *правила отрезков* (рычага) [3].

Конода — горизонтальный отрезок, концы которого ограничены равновесными сосуществующими фазами и содержанием в них компонентов.

Правило отрезков устанавливает количественное соотношение фаз при заданной температуре, в любой точке диаграммы, когда в сплаве одновременно существуют две фазы.

Пример: рассмотрим применение правила отрезков для твёрдого раствора компонентов А и В (рисунок 3.2).

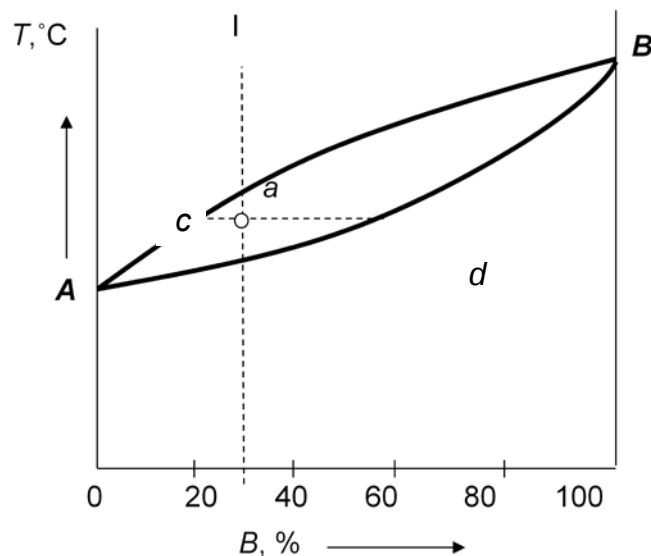


Рисунок 3.2 Правило отрезков

A, B – компоненты сплава, a – фигуральная точка, cd – конода

Для определения соотношения фаз и их состава через точку a проводим коноду cd до пересечения с линиями ликвидус и солидус. Проекция точек c и d на ось концентрации показывает концентрацию фаз при заданной температуре.

Точки c и d (cad) показывают состав жидкости и твердого раствора при данной температуре.

Количество жидкости в сплаве определяется пропорцией:

$$\frac{ad}{cd} \times 100\% \quad (3.3)$$

Количество твердого в сплаве определяется пропорцией:

$$\frac{ca}{cd} \times 100\% \quad (3.4)$$

Весовое количество фаз при заданной температуре равно:

$$\text{Жидкого компонента } A: A_{\text{ж}} = \frac{ad}{cd} \times 100\% = \frac{50-30}{55-20} \times 100 = 71.4\%$$

$$\text{Твёрдого компонента } B: B_{\text{т}} = \frac{ca}{cd} \times 100\% = \frac{30-20}{55-20} \times 100 = 28.6\%$$

Примечание: расчёт проведён по компоненту B , концентрация компонента определялась по оси X .

Практическая часть

Порядок выполнения анализа диаграммы состояния «железо — цементит»

1. Ответить на первые три теоретических вопроса индивидуального задания по заданному варианту (табл. 3.2). Указать необходимые линии, области и структурные составляющие на диаграмме.

2. На диаграмме состояния $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$, вычертить вертикальную и горизонтальную оси: шкалу Y с указанием температур и шкалу X с указанием концентраций углерода.

3. Указать фазы и структурные составляющие, для варианта, указанного преподавателем. Привести анализ структурного состава сплава в виде таблицы (см. пример табл. 3.1).

4. Определить составы и весовое количество (%) фаз и структурных составляющих сплава по правилу отрезков для заданной температуры.

Таблица 3.2

Варианты индивидуальных заданий для практической работы №3
Анализ диаграммы сплавов системы «ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ» Fe – Fe₃C

Вариант	Задание
1	1. Что такое солидус? Укажите линию солидус на диаграмме. 2. Что представляет собой перлит? Укажите область на диаграмме. 3. Из какой фазы при охлаждении выделяется первичный цементит? 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 3,3 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1200°С весовое количество фаз %.
2	1. Что представляет собой феррит? Укажите область на диаграмме. 2. Укажите содержание углерода в перлите. 3. Какие линии диаграммы соответствуют, эвтектическому и эвтектоидному превращениям? Укажите эти линии на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 1,3 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 800°С весовое количество фаз %.
3	1. Что такое полиморфизм? 2. Какие полиморфные модификации имеет железо? 3. Сколько однофазных областей на диаграмме? Укажите области на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 5,5 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1160°С весовое количество фаз %
4	1. Что представляет собой аустенит? Укажите область на диаграмме. 2. Приведите точки диаграммы, которые делят сплавы на стали и чугуны, доэвтектоидные и заэвтектоидные стали, доэвтектические и заэвтектические чугуны. 3. Из какой фазы при охлаждении выделяется третичный цементит? 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 1,2 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 760°С весовое количество фаз %.
5	1. Что такое ликвидус? Укажите линию ликвидус на диаграмме. 2. Что такое перекристаллизация? 3. Укажите максимальное содержание углерода в аустените.

	4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,8 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1200°C весовое количество фаз %.
--	---

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Задание
6	1. Что представляет собой цементит? Укажите область на диаграмме. 2. Сколько двухфазных областей на диаграмме? Укажите области на диаграмме. 3. Что такое точка Кюри? Укажите её на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,04 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 800°C весовое количество фаз %.
7	1. Что представляет собой феррит? Укажите область на диаграмме. 2. По каким линиям диаграммы выделяется цементит первичный, вторичный, третичный? Укажите эти линии на диаграмме. 3. Сколько трёхфазных областей на диаграмме? Укажите области на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,2 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1450°C весовое количество фаз %
8	1. Что представляет собой ледебурит? Укажите область на диаграмме. 2. Какие структурные составляющие железоуглеродистых сплавов состоят из одной фазы? Укажите области на диаграмме. 3. Что такое $\alpha\text{-Fe}$? Укажите его температурный интервал на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 2,8 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1180°C весовое количество фаз %.
9	1. Какие критические температуры полиморфного превращения имеет чистое железо? 2. Что представляет собой аустенит? Укажите область на диаграмме. 3. Из каких фаз состоят заэвтектоидные стали при комнатной температуре? 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,12 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 650°C весовое количество фаз %.
10	1. Из какой фазы выделяется цементит третичный? 2. Что такое $\beta\text{-Fe}$? Укажите его температурный интервал на диаграмме.

	3. Что представляет собой перлит? Укажите область на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 5,0 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1180°C весовое количество фаз %.
--	--

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Задание
11	1. Что такое эвтектоидное превращение? Укажите линию на диаграмме. 2. Что представляет собой цементит? Укажите область на диаграмме. 3. Сколько однофазных областей на диаграмме? Укажите их на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,6 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 740°C весовое количество фаз %.
12	1. Что представляет собой ледебурит? Укажите область на диаграмме. 2. Что такое γ-Fe? Укажите его температурный интервал на диаграмме. 3. Сколько двухфазных областей на диаграмме? Укажите области на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 2,5 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1190°C весовое количество фаз %.
13	1. Что такое ферромагнетизм? 2. Какие критические температуры полиморфного превращения имеет чистое железо? 3. Что такое ликвидус? Укажите линию ликвидус на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,05 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 800°C весовое количество фаз %.
14	1. Что представляет собой перлит? Укажите область на диаграмме. 2. Приведите точку диаграммы, которая делит стали на доэвтектоидные и заэвтектоидные. 3. Каково максимальное содержание углерода в феррите? 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 2,8 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1200°C весовое количество фаз %.
15	1. Что такое солидус? Назовите и укажите линию солидус на диаграмме.

	2. Что представляет собой аустенит? Укажите область на диаграмме. 3. Приведите точки диаграммы, которые делят сплавы на стали и чугуны, доэвтектоидные и заэвтектоидные стали, доэвтектические и заэвтектические чугуны. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 1,6 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 900°C весовое количество фаз %.
--	---

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Задание
16	1. Что такое ликвидус? Укажите линию ликвидус на диаграмме. 2. Что представляет собой феррит? Укажите область на диаграмме. 3. Сколько однофазных областей на диаграмме? Укажите их на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 3,6 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1160°C весовое количество фаз %
17	1. Что представляет собой цементит? Укажите область на диаграмме. 2. Сколько двухфазных областей на диаграмме? Укажите их на диаграмме. 3. Какие полиморфные превращения имеет железо? В каких температурных интервалах они существуют? Укажите их на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,16 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1420°C весовое количество фаз %.
18	1. Что представляет собой ледебурит? Укажите область на диаграмме. 2. Какая температура соответствует эвтектоидному превращению? В чем оно заключается? Укажите его линию на диаграмме. 3. Из какой фазы при охлаждении выделяется первичный цементит? 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 5,5 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1190°C весовое количество фаз %.
19	1. Что такое δ-Fe? Укажите его температурный интервал на диаграмме. 2. Что такое полиморфизм? 3. Какая температура соответствует эвтектическому превращению? В чем оно заключается? Укажите линию на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,7 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1400°C весовое

	количество фаз %.
20	1. Что представляет собой аустенит? Укажите область на диаграмме. 2. Из каких фаз состоят доэвтектоидные стали при комнатной температуре? 3. Сколько двухфазных областей на диаграмме? Укажите области на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 4,8 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1155°C весовое количество фаз %.

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Задание
21	1. Сколько однофазных областей на диаграмме? Укажите их на диаграмме. 2. Что представляет собой перлит? Укажите область на диаграмме. 3. Каково максимальное содержание углерода в аустените? 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 1,6 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1200°C весовое количество фаз %.
22	1. Что представляет собой цементит? Укажите область на диаграмме. 2. Что такое солидус? Назовите и укажите линию солидус на диаграмме. 3. Что такое α-Fe? Укажите его температурный интервал на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 3,5 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1180°C весовое количество фаз %
23	1. Что представляет собой феррит? Укажите область на диаграмме. 2. Сколько однофазных областей на диаграмме? Укажите их на диаграмме. 3. Что такое точка Кюри? Укажите её на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,35 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 520°C весовое количество фаз %.
24	1. Приведите для чистого железа критические температуры полиморфного превращения. Укажите их на диаграмме. 2. Сколько двухфазных областей на диаграмме? Укажите их на диаграмме. 3. Из какой фазы выделяется третичный цементит? Укажите эту линию на диаграмме.

	4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 3,0 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1185°C весовое количество фаз %.
25	1. Что такое солидус? Назовите и укажите линию солидус на диаграмме. 2. Что представляет собой цементит? Укажите область на диаграмме. 3. Какая температура соответствует эвтектоидному превращению? В чем оно заключается? Укажите его линию на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 2,0 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1050°C весовое количество фаз %.

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Задание
26	1. Что представляет собой аустенит? Укажите область на диаграмме. 2. Приведите точки диаграммы, которые делят сплавы на стали и чугуны, доэвтектоидные и заэвтектоидные стали, доэвтектические и заэвтектические чугуны. Укажите эти точки на диаграмме. 3. Что такое $\gamma\text{-Fe}$? Укажите его температурный интервал на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 6,0 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1195°C весовое количество фаз %.
27	1. Что такое ликвидус? Укажите линию ликвидус на диаграмме. 2. Из какой фазы при охлаждении выделяется вторичный цементит? 3. Какая температура соответствует эвтектическому превращению? В чем оно заключается? Укажите его линию на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,03 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 750°C весовое количество фаз %.
28	1. Что представляет собой ледебурит? Укажите область на диаграмме. 2. Сколько однофазных областей на диаграмме? Укажите их на диаграмме. 3. Что такое ферромагнетизм? 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 3,8 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1155°C весовое количество фаз %.
29	1. Что представляет собой перлит? Укажите область на диаграмме. 2. Сколько двухфазных областей на диаграмме? Укажите их на

	диаграмме. 3. Что такое $\beta\text{-Fe}$? Укажите его температурный интервал на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,9 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 750°C весовое количество фаз %.
30	1. Что представляет собой феррит? Укажите область на диаграмме. 2. Укажите трёхфазные равновесные состояния сплавов системы «железо–углерод». Укажите их на диаграмме. 3. Каково максимальное содержание углерода в аустените? 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 5,3 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1160°C весовое количество фаз %.

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Задание
31	1. Какие полиморфные превращения имеет железо? В каких температурных интервалах они существуют? Укажите их на диаграмме. 2. Что представляет собой цементит? Укажите область на диаграмме. 3. Из какой фазы при охлаждении выделяется вторичный цементит? 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 0,7 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 750°C весовое количество фаз %.
32	1. Что представляет собой ледебурит? Укажите область на диаграмме. 2. Приведите обозначение линий диаграммы, соответствующих эвтектоидному и эвтектическому превращениям. Укажите эти линии на диаграмме. 3. Что такое $\gamma\text{-Fe}$? Укажите его температурный интервал на диаграмме. 4. Укажите фазы и структурные составляющие, имеющиеся в сплаве с 2,5 % С. 5. Определите для заданного сплава при температуре 1250°C весовое количество фаз %.

Практическая работа № 4

МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ

Цель практической работы - изучить принципы обозначения марок сталей и сплавов на основе железа и научиться читать маркировку.

Термины и определения

Сталь — сплав железа с углеродом, в котором массовая доля железа больше, чем массовая доля какого-либо другого элемента, а массовая доля углерода составляет менее 2 %, и в состав которого входят также и другие химические элементы [6].

Стали инструментальные — стали, предназначенные для изготовления режущего и штампового инструмента. Их делят на углеродистые (У7, У12) и легированные.

Стали конструкционные — стали, которые применяются для изготовления различных строительных конструкций, деталей машиностроения и механизмов. Они обладают определёнными механическими, физическими и химическими свойствами. По химическому составу стали бывают легированными и углеродистыми.

Стали легированные — стали, в состав которых вводят легирующие элементы (никель, хром, кремний, марганец, вольфрам, молибден, титан, бор и др.) с целью получения определенных свойств [1].

Жаропрочность — способность материала при высоких температурах сопротивляться пластической деформации и разрушению.

Жаростойкость — способность металлов и сплавов сопротивляться окислению и газовой коррозии при высоких температурах [1].

Стали являются самым востребованным техническим материалом. Это обусловлено очень широким спектром их механических, технологических и эксплуатационных свойств. Необходимые свойства сталей достигаются за счет легирования, термообработки, химико-термической обработки.

Единой мировой системы маркировки сталей не существует. В США применяется сразу несколько систем SAE и AISI. В Европе используют систему EN. В России и других странах СНГ за основу взята система обозначения марок стали, разработанная в СССР, где маркировка стали зависит от её металлургического качества, назначения и химического состава.

4.1 Классификация сталей

Углеродистые стали классифицируются по содержанию углерода, способу производства, степени раскисления, качеству и назначению.

По содержанию углерода:

- низкоуглеродистые ($<0,25\% \text{ C}$);
- среднеуглеродистые ($0,25\text{--}0,6\% \text{ C}$);

- высокоуглеродистые ($>0,6\%C$).

По способу производства:

- конвертерные;
- мартеновские;
- электростали.

Конвертерный способ производства стали заключается в том, что через жидкий чугун, заливаемый в конвертер, продувается воздух. Кислород, находящийся в воздухе, вступает в реакцию с углеродом, кремнием, марганцем и другими примесями в чугуне и окисляет их. Процесс выплавки стали осуществляется только за счет теплоты химических реакций окисления примесей с учетом физической теплоты жидкого чугуна.

Мартеновский способ - это производство стали в мартеновских печах, где окисление осуществляется воздухом, проходящим через шлак. Шлак изолирует расплавленный металл от воздействия кислорода воздуха, что уменьшает угар металла.

Электростали выплавляют с применением дуговых и индукционных электрических печей. Таким способом получают высококачественные конструкционные, инструментальные стали и сплавы со специальными свойствами (жаростойкие, коррозионностойкие). Производство стали в электропечах — наиболее совершенный способ получения стали.

По степени раскисления:

- кипящие (не более $0,07\% Si$);
- полуспокойные ($0,07 - 0,12\% Si$);
- спокойные (не менее $0,12\% Si$).

Раскисление — процесс удаления из жидкого металла кислорода с целью предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации.

Кипящие стали раскисляют марганцем. Перед разливкой в них повышенное содержание кислорода, который при затвердевании частично взаимодействует с углеродом и удаляется в виде CO.

Полуспокойные стали раскисляют марганцем и кремнием или марганцем и алюминием. Полуспокойные стали по степени раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

Спокойные стали раскисляют последовательно марганцем, кремнием и алюминием. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газовыделения.

По качеству стали:

- обыкновенного качества (содержат до $0,055\%S$ и $0,060\%P$);
- качественные (не более $0,04\%S$ и $0,035\%P$);
- высококачественные (не более $0,025\%S$ и $0,025\%P$);
- особовысококачественные (P и S — до $0,015\%$).

Под качеством стали понимается совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства. Металлургическое качество

стали зависят от её чистоты по вредным примесям (сере S и фосфору P) и неметаллическим включениям.

По назначению:

- конструкционные;
- инструментальные;
- специальные.

4.2 Конструкционные стали

4.2.1. Конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества

Маркировка и общие требования стали обыкновенного качества регламентированы ГОСТ 380-2005 [7]. Применяются стали для изготовления горячекатаного проката, слитков, труб, поковок и штамповок, лент, проволоки, метизов и др.

Углеродистую сталь обыкновенного качества изготавливают следующих марок:

Ст0,
Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп,
Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп,
Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп,
Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп,
Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс,
Ст6пс, Ст6сп.

Сочетанием букв **Ст** в марке обозначают «сталь обыкновенного качества»; цифра после **Ст** - условный номер марки в зависимости от химического состава стали (от 0 до 6, чем выше цифра, тем большее количество параметров стали контролируется); маленькие буквы в конце марки - степень раскисления («**кп**» - кипящая; «**пс**» - полуспокойная; «**сп**» - спокойная). Если перед индексом раскисления стоит буква **Г**, то сталь для повышения прокаливаемости легирована марганцем (другие легирующие добавки в сталях обыкновенного качества не используют). Сталь марки Ст0 по степени раскисления не разделяют.

Примеры:

Ст2кп – сталь обыкновенного качества, номер марки по химическому составу – 2, по степени раскисления – кипящая;

Ст3Гсп – сталь обыкновенного качества, номер марки по химическому составу – 3, легированная марганцем, по степени раскисления – спокойная.

4.2.2. Углеродистые качественные конструкционные стали

Этот класс сталей получил наиболее широкое применение в машиностроении. Углеродистые качественные конструкционные стали поставляются в виде проката, различных профилей с гарантированным

химическим составом и механическими свойствами ГОСТ 1050-2013 [8]. В стандарте на качественную сталь приводят варианты рекомендуемых режимов её термической обработки и получаемые при этом механические свойства.

Качественная конструкционная сталь маркируется *содержанием углерода, указанным в сотых долях весового процента* (указывают значение, соответствующее середине марочного интервала). Спокойные стали маркируют без индекса, полуспокойные и кипящие - с индексом «пс» и «кп» соответственно.

Примеры:

Сталь 08кп - сталь качественная конструкционная с содержанием 0,08 % углерода, кипящая.

Сталь 80 - сталь качественная конструкционная с содержанием 0,80 % углерода.

Стали 10, 15, 20, 25 относятся к *низкоуглеродистым*. Они пластичны, хорошо свариваются и штампуются. В нормализованном состоянии они используются для крепежных деталей, втулок, шестерен, эксцентриков, штуцеров. Для увеличения поверхностной прочности и износостойкости их подвергают цементации (насыщение поверхности углеродом) и применяют для деталей небольших размеров – слабонагруженных зубчатых колес, кулачков.

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50 и стали с повышенным содержанием марганца 30Г, 40Г, 50Г в нормализованном состоянии отличаются повышенной прочностью и меньшей пластичностью. В зависимости от условий работы детали термически обрабатывают: нормализуют, улучшают (закалка с высоким отпуском), закаливают и низко отпускают. Закалка с отпуском обеспечивает и более высокую ударную вязкость, и хладостойкость. Эти стали применяют для ответственных деталей: пальцев, кулачковых валов, ходовых винтов, зубчатых реек, шестерен, шатунов, испытывающих циклические нагрузки.

Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г используют для изготовления пружин, торсионов, рессор и других деталей, для которых необходимы высокая упругость и износостойкость.

4.2.3. Автоматные стали (стали повышенной обрабатываемости)

Автоматные стали (ГОСТ 1414-75 [10]) предназначены для изготовления мелких винтов, гаек, шпилек и других конструкционных деталей неответственного назначения или работающих без ударных нагрузок. Эти стали используют в массовом производстве для изготовления деталей на станках-автоматах. Повышенное содержание серы и фосфора, снижает механические свойства сталей. Добавление в автоматные стали свинца, селена, теллура позволяет в 2-3 раза сократить расход режущего инструмента и повысить производительность обработки на 30%. Улучшение обрабатываемости достигается модифицированием кальцием, который скругляет сульфидные включения.

Марки автоматных сталей обозначают буквой А и цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента, легирующие элементы обозначают буквами: Г-марганец, Е-селен, или теллур, С-свинец, Ц-кальций.

Примеры:

Сталь А11 - сталь автоматная с содержанием 0,11 % углерода.

Сталь АСЦ30ХМ - сталь автоматная, легированная свинцом и кальцием с содержанием 0,30 % углерода, хрома и молибдена до 1 % каждого.

По мере развития технологий лазерной резки были разработаны специальные конструкционные стали для лазерной резки. Их отличительной особенностью является более предсказуемое поведение листа после резки (пониженный уровень внутренних напряжений в металле).

4.2.4. Легированные конструкционные стали

Легирование сталей и сплавов используют для улучшения их технологических свойств — повышения предела текучести, ударной вязкости, относительного сужения и прокаливаемости, снижения скорости закалки, порога хладоломкости, деформируемости изделий и возможности образования трещин.

Легированные стали определяются суммарным процентом содержания легирующих элементов:

- низколегированные — менее 5%;
- среднелегированные — 5 - 10%;
- высоколегированные — более 10%.

Согласно ГОСТ 5632-2014 [14] наименование марок легированных сталей состоит из буквенных и цифровых обозначений. *Две цифры в начале маркировки* указывают на конструкционные стали и *содержание в стали углерода в сотых долях процента*. Буква и цифра после неё обозначают определённый легирующий элемент (табл. 4.1) с указанием средней массовой доли легирующего элемента в процентах (цифра). Буква без цифры — легирующий элемент с содержанием в стали менее 1%. Буква А в конце маркировки — указывает на высококачественную сталь.

Таблица 4.1

Условные обозначения легирующих элементов в маркировках сталей

Наименование легирующего элемента	Химический знак	Обозначение в маркировке стали
Азот	N	А
Алюминий	Al	Ю
Бор	B	Р
Ванадий	V	Ф
Вольфрам	W	В
Кобальт	Co	К

Кремний	Si	С
Марганец	Mn	Г
Медь	Cu	Д
Молибден	Mo	М
Никель	Ni	Н
Ниобий	Nb	Б
Селен	Se	Е
Фосфор	P	П
Хром	Cr	Х
Цирконий	Zr	Ц

Примечание: редкоземельные металлы РМЗ (La лантан, Pr празеодим, Се церий) обозначают в маркировке сталей буквой **Ч**.

Стали и сплавы, полученные с применением специальных методов выплавки или специальных переплавов, дополнительно обозначают через дефис в конце наименования марки. Это *особо высококачественные стали*.

Примеры:

Сталь 12ХНЗ – сталь качественная с содержанием 0,12 % углерода, хрома 1 %, никеля 3 %.

Сталь 18Х2Н4ВА - сталь высококачественная конструкционная с содержанием 0,18 % углерода, хрома 2 %, никеля 4 %, вольфрама до 1 %.

Сталь 01Х25-ВИ - сталь особо высококачественная с содержанием 0,01 % углерода, 25 % хрома, вакуумно- индукционной выплавки.

4.2.5. Котельные конструкционные стали

Котельные стали предназначены для изготовления деталей котлостроения должна выдерживать температуры до 450°С и значительное давление. Котельные стали поставляются в соответствии с ГОСТ 5520-2017 [13] в виде толстых листов. Они маркируются сочетанием цифр, *указывающих содержание углерода в сотых долях процента* и буквой **К**, следующей за цифрами.

Пример: Сталь 15К – сталь котельная с содержанием углерода в среднем 0,15%.

Котельные стали марок 12К, 16К, 18К используются для изготовления деталей, частей котлов и сосудов, работающих под давлением при комнатной, повышенных и криогенных температурах.

Стали марок 15К, 20К, 22К идут на изготовление днищ, фланцев, сварных барабанов паровых котлов, полумуфт, патрубков и других деталей, работающих при температурах от -40 до +450°С под давлением.

4.2.6. Литейные конструкционные стали

Литейные стали выплавляются в соответствии с ГОСТ 977-88 [11]. Они маркируются сочетанием цифр, *указывающих содержание углерода в сотых долях процента* и буквой **Л**, следующей за цифрами. Они содержат до 0,9%Mn, до 0,52%Si и не более 0,06%S и 0,08%P.

Пример Сталь 15Л – сталь литейная с содержанием углерода 0,15%.

Низкоуглеродистые литейные стали применяют для изготовления деталей, подвергающихся ударным нагрузкам – арматуры, деталей сварно-литых конструкций. Среднеуглеродистые стали используют для отливки станин и валков прокатных станов, крупных шестерен.

Для изготовления отливок предусмотрены стали конструкционные нелегированные (15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л) и конструкционные легированные (20ГЛ, 35ГЛ, 30ХГСФЛ, 30ХЗСЗГМЛ).

4.2.7. Подшипниковые конструкционные стали

Подшипниковые стали по химическому составу высокоуглеродистые (0,95-1,05 % С), низколегированные. Основные потребительские свойства подшипниковых сталей – повышенная твёрдость, износостойкость и сопротивление контактной усталости. К чистоте стали предъявляются чрезвычайно высокие требования, особенно по неметаллическим включениям карбидной неоднородности. Для увеличения прокаливаемости в состав стали вводят легирующие элементы: хром, кремний и марганец, содержание которых зависит от размеров деталей.

Согласно ГОСТ 801-78 [15] подшипниковые стали обозначаются индексом **Ш** в начале марки стали. Массовая доля хрома представлена *в десятых долях процента*.

Подшипниковые стали выпускаются марок: ШХ4, ШХ15, ШХ15ГС, ШХ20ГС.

Если подшипниковые стали, получены специальными методами выплавки, их дополнительно обозначают через дефис в конце наименования марки следующими буквами:

Ш - электрошлаковый переплав, **ДШ** - двойной электрошлаковый переплав,

В - внепечная обработка с вакуумированием, **ПВ** - прямое восстановление.

Пример: Сталь ШХ15-Ш - сталь особо высококачественная подшипниковая с содержанием углерода до 1 %, хрома 1,5 % после электрошлакового переплава.

Подшипниковые стали предназначены для изготовления шариков, роликов, колец подшипников качения, которые в работе при небольших динамических нагрузках испытывают значительные циклические контактные напряжения сжатия.

4.3 Углеродистые инструментальные стали

Инструментальные стали предназначены для изготовления режущего, измерительного инструментов и штампов холодного и горячего деформирования. Свойства, необходимые инструментам – износостойкость, теплостойкость. Углеродистые инструментальные стали наиболее дешевы. В соответствии с ГОСТ 1435-99 [9] углеродистые инструментальные стали выплавляют качественные и высококачественные (с пониженным содержанием вредных примесей серы и фосфора).

Углеродистая инструментальная *сталь маркируется содержанием углерода, указанным в десятых долях процента*. Углеродистая (нелегированная) инструментальная сталь дополнительно маркируется буквой **У**, которая ставится перед числом, обозначающим содержание углерода. Буква **А** в конце марки обозначает, что сталь высококачественная.

Примеры:

Сталь У8 - сталь качественная инструментальная с содержанием 0,8 % углерода.

Сталь У13А - сталь высококачественная инструментальная с содержанием 1,3 % углерода.

Иногда трудно различить по назначению легированные стали со сходной маркой. Предельное содержание углерода в инструментальных сталях не превышает 1,3 %. Такие высокоуглеродистые инструментальные стали обычно легируют только хромом.

Пример: Сталь 11Х, сталь 13Х - качественные инструментальные стали, легированные хромом до 1 % с содержанием углерода 1,1 и 1,3 %, соответственно.

В некоторых марках легированной инструментальной стали в начале марки может быть не указано содержание углерода. В этом случае содержание углерода до 1 %. Это ещё один признак инструментальной стали.

Пример: Сталь Х - сталь качественная инструментальная с содержанием до 1 % углерода, до 1 % хрома.

Углеродистые инструментальные стали поставляются после отжига, используются для производства мелкого инструмента: метчики, развертки, напильники.

Сталь марок У7, У8, У9 подвергают полной закалке и отпуску. Их используют для производства деревообрабатывающего, слесарного, кузнечного инструмента. Стали У10, У11, У12, У13 подвергают неполной закалке и низкому отпуску, используют для изготовления измерительного (калибры, скобы) и режущего инструментов (пилы, сверла, резцы). Сталь У13 имеет высокую твердость, ее используют для изготовления гравировального инструмента, шаберов.

Высококачественные стали из-за лучшей вязкости чаще используют для инструмента с тонкой режущей кромкой (скальпели, тонкие сверла).

4.4 Специальные стали

Арматурные стали предназначены для изготовления прутков (гладких и периодического профиля) и проволоки, которые применяются для армирования железобетонных конструкций. В предварительно напряженной железобетонной конструкции, когда бетон сжат вложенными в конструкцию стальными стержнями, металл испытывает значительные напряжения. В таких конструкциях применяют высокопрочные стальные стержни или проволоку. Арматурная сталь делится на классы по прочности в соответствии с ГОСТ 5781-82 [12]. Маркируется арматурная сталь буквой А, за которой следует римская цифра, показывающая класс по прочности (от А-I до А-VI). В зависимости от механических свойств арматурную сталь подразделяют на классы А - I (А240), А - II (А300), А - III (А400); А - IV (А600), А-V (А800), А-VI (А1000). В скобках указаны условные обозначения класса арматурной стали по пределу текучести ($H/mm^2 = MPa$).

Арматурную сталь классов А-I (А240), А-II (А300), А-III (А400). А-IV (А600) изготавливают горячекатаной, класса А-V (А800) — с низкотемпературным отпуском, класса А-VI (А1000) — с низкотемпературным отпуском или термомеханической обработкой в потоке прокатного стана.

Пример: сталь А-III (А400) – сталь арматурная, III класс по прочности $\sigma_T \approx 400 MPa$.

Арматурную сталь классов А-I, А-II, А-III применяют для ненапряженных конструкций, а сталь более высоких классов - для предварительно напряженных конструкций.

Мостовые стали предназначены для изготовления пролетных строений мостовых конструкций. Поставляется листовая, широкополосная, фасонная и сортовая. В мостостроении допускается использовать только спокойную сталь.

Сталь выплавляется двух марок:

– М16С – для сварных мостовых конструкций. В маркировке буква М показывает, что сталь мостовая, цифра показывает среднее содержание углерода в сотых долях процента, буква С, что сталь подвергается сварке.

– Ст3 мост. – для клепаных конструкций. Цифра в марке означает номер группы механических свойств стали.

Сталь М16С дополнительно раскисляется алюминием, а содержание в ней хрома, никеля и меди не должно превышать 0,3% каждого. Сталь испытывается на изгиб на 180° в холодном состоянии и на ударную вязкость при температуре $+20^\circ$ и $-20^\circ C$. Сталь М16С, идущая на изготовление ответственных сварных конструкций, оценивается на чувствительность к старению. Предъявляются высокие требования к качеству проката. На кромках листов и полос не должно быть расслоений, а заварка и заделка дефектов не допускаются.

Рельсовая сталь служит материалом для рельсов.

Рельсы изготавливают двух групп:

1-я группа – из спокойной мартеновской стали, раскисленной в ковше комплексными раскислителями без применения алюминия или других раскислителей;

2-я группа – из спокойной мартеновской стали, раскисленной алюминием или марганцем.

Рельсовые стали маркируются буквой **М**, которая указывает мартеновский способ выплавки, за которой следует цифра, указывающая содержание углерода в сотых долях процента. Буквы В, Т, Ц указывают повышенное содержание ванадия, титана, циркония. Массовая доля ванадия в рельсовой стали колеблется от 0,01 до 0,07 %, титана от 0,005-0,02, циркония 0,001-0,050%.

Пример: М76ВТ– сталь рельсовая, мартеновского способа выплавки, с содержанием 0,76 % углерода, повышенным содержанием ванадия и титана.

Сталь марок М76, М76Т, М76ВТ, М76Ц, М74Т, М74Ц выпускают для изготовления первой группы рельсов типа Р75, Р65, Р50; для второй группы рельсов используют стали марок М76, М74.

Условия эксплуатации рельсов на дорогах Сибири вдвое тяжелее, чем в европейской части России. Созданы рельсы низкотемпературной надежности Р65, объемно-закаленные 1-й группы, выплавляемые из ванадий - ниобий - борсодержащей стали. Для этих рельсов используется электросталь, выплавка которой производится в дуговых печах. При температуре -60°С рельсы из электростали выдерживают ударные нагрузки вдвое больше, чем рельсы из мартеновской стали [5].

Быстрорежущие (рапидные) стали применяют при высокоскоростном резании металлов. В отличие от других инструментальных сталей они обладают высокой теплостойкостью, сохраняют высокую твердость, прочность и износостойкость при повышенных температурах, возникающих в режущей кромке при резании с большой скоростью. Эти стали сохраняют свою структуру при нагреве до 600°С. Применение быстрорежущих сталей позволяет в 2-4 раза повысить скорость резания и в 10-30 раз – стойкость инструмента. Согласно ГОСТ 19265-73 [16] обозначаются быстрорежущие стали буквой **Р** в начале марки. Число, стоящее после этой буквы, обозначает содержание вольфрама в процентах. Обычно кроме вольфрама эти стали легированы 4 % хрома и 1 % ванадия.

Примеры.

Сталь Р18 - высококачественная быстрорежущая инструментальная сталь; содержание углерода до 1 %, 18 % вольфрама.

Сталь Р18К5Ф2 - сталь высококачественная быстрорежущая инструментальная с содержанием углерода до 1 %, 18 % вольфрама, 5 % кобальта, 2 % ванадия.

Пружинные стали ГОСТ 14959-2016 - среднеуглеродистые (0,6 - 0,8% С), низколегированные. Основные легирующие элементы – марганец, кремний, хром и никель. Эти стали обладают высокими механическими свойствами, в первую очередь высокими пределами упругости и прочности, а также повышенной релаксационной стойкостью при достаточной вязкости и пластичности. Для получения этих свойств стали должны содержать более 0,5% С и быть способными к термической обработке — закалке и отпуску. Пружинные стали (65Г, 70, 75; 50ХА, 55ХГР, 55С2, 60С2, 50ХФА, 60С2ХФА,

65С2ВА, 70С2ХА) в основном используются для изготовления пружин и рессор.

Стали 50ХГ, 55ХГР, 55С2, 60С2, 60СГА применяют для изготовления рессор автомобилей, пружин железнодорожного транспорта. Для клапанных пружин рекомендуется сталь 50ХФА – не склонная к перегреву и обладающая большой устойчивостью к разупрочнению при отпуске. Стали 60С2ХФА, 65С2ВА имеют высокую прокаливаемость и прочность, поэтому применяются для крупных высоконагруженных пружины и рессор, работающих до температуры 250°С. Срок службы рессор может быть повышен дробеструйной обработкой, это повышает предел выносливости в 1,5-2 раза.

Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали ГОСТ 5632-2014 [14] обязательно содержат в своём составе более 12,5% хрома. Он образует на поверхности изделия защитную оксидную плёнку, предотвращающую контакт с агрессивной средой. Коррозионная стойкость сталей может быть повышена термической обработкой (закалкой и высоким отпуском) и созданием шлифованной поверхности.

Коррозионно-стойкие стали и сплавы классифицируют в зависимости от агрессивности среды, в которой они используются. Различают химическую (газовую) коррозию и электрохимическую. Химическая коррозия протекает при воздействии на металл газов и неэлектролитов (нефть и её производные). Электрохимическую коррозию вызывает действие кислот, щелочей и солей (электролитов). К электрохимической коррозии относятся также атмосферная и почвенная коррозия.

По основному потребительскому свойству стали разделяют на собственно *коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные и криогенные.*

Жаростойкие стали получают на базе системы **Fe - Cr - Ni** с небольшим количеством кремния. Основным потребительским свойством этих сталей является температура эксплуатации, которая должна быть более 550°С. Жаростойкие стали выпускают марок 15Х5, 15Х6СМ, 40Х9С2, 30Х13Н7С2, 12Х17, 15Х28.

Жаростойкие стали и сплавы используются для производства труб, листов, деталей высокотемпературных установок, газовых турбин и поршневых двигателей, печных конвейеров, ящиков для цементации и др.

Жаропрочные стали должны обладать высоким сопротивлением химической коррозии, но вместе с тем обеспечивать надёжную работу под нагрузкой при температурах эксплуатации выше 400 - 450°С.

Жаропрочные стали и сплавы в своём составе обязательно содержат никель, который обеспечивает существенное увеличение предела длительной коррозионной прочности. Для достижения жаропрочности стали дополнительно легируют хромом, и другими карбидообразующими элементами Мо, V, W, Nb, Si, Ti, Al. Рабочие температуры современных жаропрочных сплавов составляют примерно 0,45 - 0,8 Тпл.[2].

Стали 12Х1МФ, 12Х2МФСР сохраняют прочность до температуры 500°С; сталь 40Х15Н7Г7Ф2МС; с карбидным упрочнением жаропрочна до 700°С.

Жаропрочные стали и сплавы применяются для изготовления труб, клапанных, паро- и газотурбинных деталей (роторы, лопатки, диски).

Криогенные машиностроительные стали и сплавы по химическому составу являются низкоуглеродистыми (0,10% С) и высоколегированными (Сг, Ni, Mn и др.) сталями (08X18H10, 12X18H10T, 03X20H16AG6). Основными потребительскими свойствами этих сталей являются пластичность и вязкость, которые с понижением температуры практически не уменьшаются, т.е. не происходит резкого снижения вязкости, характерного при хладноломкости.

При работе в условиях низких температур для крупных конструкций используются свариваемые низколегированные стали 9Г2С, 14Г2АФ. Для изделий, работающих при температуре до -50 °С - улучшаемые стали 40Х, 65Г, 60С2А.

Высокую хладостойкость имеют стали, легированные никелем: 03Х9К14Н6МЗТ. Их используют в изделиях, работающих до температуры -196°С и относящихся к авиационной, ракетной и космической технике.

Износостойкие стали ГОСТ 5632—2014 [14] по химическому составу могут быть высокоуглеродистыми (1,1 - 1,3% С) или малоуглеродистыми и высоколегированными (Si, Mn, Cr, Ni и др.). Основное потребительское свойство этих сталей — высокая стойкость деталей при кавитационной коррозии и механическом изнашивании при значительных ударных нагрузках. Эти стали (12Х18Н9Т, 30Х10П0, 0Х14АП2, 0Х14АП2М, ПЗ) применяют чаще в литом или ковном (катаном) состоянии, так как их общее технологическое свойство — пониженная обрабатываемость резанием. Износостойкие стали используются для изготовления лопастей гидротурбин и гидронасосов, крестовин рельсов, щек дробилок, черпаков землеройных машин, траков.

Практическая часть

Для выполнения практической работы каждый студент получает у преподавателя вариант задания (см. табл.4.4).

Необходимо дать характеристику девяти различным сталям указать:

- металлургическое качество стали;
- назначение стали;
- химический состав стали по марке.
- примерное назначение различных марок сталей.

Практическое задание следует представить в виде таблицы 4.3

Таблица 4.3

Маркировка сталей

Марка стали	Название сплава по классификации и его характеристика	Химический состав стали	Область применения стали

Пример заполнения таблицы 4.3

Марка стали	Название сплава по классификации и его характеристика	Химический состав стали	Область применения стали
Ст4кп	сталь обыкновенного качества, кипящая	Хим.состав №4 0,055% S - серы 0,060% P - фосфора	для изготовления горячекатаного проката, слитков, блюмов, слябов
09Г2	низколегированная, низкоуглеродистая, конструкционная	0,09% C 2% Mn 0,035% S 0,035% P	детали тормоза, детали кузова вагона (крыша, двери)
60С2ХФА	сталь пружинная, низколегированная, А- высококачественная	0,60% C- углерода С-2% Si - кремния Х-1% Cr - хрома Ф-1% V - ванадия	пружины станков и прессов, работающих до температуры 250°С

Таблица 4.4

Варианты заданий к практической работе «маркировка сталей»

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Ст3Гпс	Ст3кп	Ст2кп	Ст6сп
20ХР	50Г2	38ХМЮА	40ХФА
12ХГНФАЮ	15Г2СФ	16Г2АФпс	12Г2СМФ
2Х13В8К10	5ХНМ	2Х12В3МФ	6ХНФ
Р6М5	Р18	ШХ15	Р9К5
14Х17Н2	07Х13АГ20	08Х21Н6М2Т	09Х15Н8Ю
М76	М16С	20К	А-II (А300)
А40Г	15К	Ст3мост	15Л
12К	М76ВТ	А-I (А240)	М74
Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
Ст1сп	Ст6пс	Ст5сп	Ст4пс
50ХГ	20ХГР	50ХГА	45ХН
15ХГ2СФР	14ХГНСФР	12ХГ2СМФ	12ХГНФАЮ
9ХФ	8Х4В4Ф	4Х5В4ФСМ	2Х12В7К5
Р6М5Ф3	Р9М4К8	Р12Ф3	Р18К5Ф2
14Х18Н4Г4Л	12Х18Н12БЛ	31Х19Н9МВБТ	15Х23Н18Л
А-III (А400)	У9А	М74Ц	У8
М76Т	А-IV (А600)	40Г	М76Т
АС35Е	А20	У13	А-V(А800)
Вариант 9	Вариант 10	Вариант 11	Вариант 12

Ст1сп	Ст4пс	Ст5Гсп	Ст2кп
60С2ХА	40ХН3А	18ХГТ	40ХС
15ГСМХР	14Х2ГМР	14ГНФБАЮ	09Г2СЮЧ
ХГ3М	У11А	4ХНМ	4Х13
Р6М5К5	11Р3АМ3Ф2	ШХ4	Р2АМ9К5
12Х18Н12М3Т	12Х25Н5ТМФЛ	120Г10ФЛ	20Х21Н46В8РЛ
М74Ц	М16С	50Л	А20
А11	А-VI (А1000)	АС14	Ст3мост
15Л	22К	18К	А-V (А800)
Вариант 13	Вариант 14	Вариант 15	Вариант 16
Ст2сп	Ст3кп	Ст4пс	Ст3сп
50ХН	85	50ХФА	70
10ХСНД	15ХСНД	15ГФ	09Г2С
Х6ВФ	9Г2Ф	ХВГ	ХВСГ
ШХ15СГ	Р18	Р9К5	Р12Ф3
10Х18Н11БЛ	110Г13ФТЛ	110Г13Х2БРЛ	15Х18Н22В6М2Р
А30	А-II (А300)	У8	16К
22К	У7А	А-I (А20)	ШХ20СГ
15Л	А30	50Л	У13А

Продолжение таблицы 4.4

Вариант 17	Вариант 18	Вариант 19	Вариант 20
Ст5пс	Ст3кп	Ст3Гпс	Ст6пс
60С2Н2А	70С2ХА	70С3А	65ГС
15Г2АФДпс	12ГН2МФАЮ	12Г2АМФ	15ХСНД
У10А	Х12Ф1	6Х2С	9ХВФ
Р9М4К8	Р18К5Ф2	Р6М5Ф3	Р6М5К5
10Х18Н9Л	10Х18Н3Г3Д2Л	130Г14ХМФАЛ	15Х18Н22В6М2
ШХ15-Ш	А-IV (А600)	ВСт3Гсп2	20К
22К	15К	У10	А-II (А300)
40Г	М76Т	М74Ц	М16С
Вариант 21	Вариант 22	Вариант 23	Вариант 24
Ст2пс	Ст3сп	Ст4кп	Ст4сп
35ХМ	45Г2	50ХГФА	12Х5МА
16Г2АФД	2ГН2МФАЮ	18Г2АФДпс	12ХГН2МБАЮ
7ХГ2ВМ	3Х2В8Ф	У13А	6ХС
Р2АМ9К5	Р6М5	Р18КФ2	11Р3АМ3Ф2
09Х16Н4БЛ	09Х17Н3С	10Х17Н10Г4МЛ	08Х17Н34В5Т3Ю2Р
У7	У8	У8А	У12
55С2	60С2	45С	55С
ШХ15	ШХ15СГ	ШХ4	110Г13Л
Вариант 25	Вариант 26	Вариант 27	Вариант 28
Ст1кп	Ст0	Ст6сп	Ст2кп

У13	У13А	У11А	У12А
ШХ20СГ	08кп	ШХ15-Ш	15кп
12Х13	20Х13	30Х13	12Х17
08Х18Н10Т	12Х18Н12Т	04Х18Н10	03Х18Н12Т
45Х14Н14С2М	40Х10С2М	15Х12ВНМФ	А-III (А400)
А11	А35Е	АС30ХМ	А40ХЕ
Р6М5	Р9К5	15К	25К
01Х25-ВИ	М76ВТ	М74Т	ШХ15СГ
Вариант 29	Вариант 30	Вариант 31	Вариант 32
Ст3кп	Ст0	Ст3сп	Ст5Гсп
20кп	50	80	30
15Х28	9ХС	ХВСГ	14ХГС
У12	У11	У7А	У10
12Х18Н10Т	12Х18Н12Т	3Х19Н9МВБТ	0Х23Н28М3Д3Т
Х12Н22Т3МР	0Х10Н20Т2	2Х17Н2	Х20Н80Т3
А-IV (А600)	А-II (А300)	А40Г	70С3А
М16С	Ст3мост	18К	М76Ц
12К	16К	15Л	22К

Практическая работа № 5

МАРКИРОВКА ЧУГУНОВ

Цель практической работы - изучить принципы обозначения марок чугунов и научиться читать маркировку.

Термины и определения

Чугун - многокомпонентный сплав железа с углеродом ($>2,14\%$ С) и другими элементами.

Графитизация - процесс выделения углерода в виде графита из сплавов Fe-C при их охлаждении. При этом, графит может выделяться как из жидкого и твердого растворов углерода в железе, так и из ранее образовавшегося цементита.

Лигатуры – вспомогательные сплавы, добавляемые в расплавленный металл или сплав для легирования или раскисления [1].

Жидкотекучесть – способность металлов и сплавов в расплавленном состоянии воспроизводить очертания отливки при заполнении полости литейной формы.

Чугун, по сравнению со сталью, имеет как преимущества, так и недостатки.

Положительными свойствами этого материала являются: хорошие литейные свойства, хорошая обрабатываемость резанием, высокая работоспособность в условиях трения, способность гасить вибрации. Недостатком чугуна являются его низкие пластические свойства и ударная вязкость.

Благодаря сочетанию высоких литейных свойств, достаточной прочности, износостойкости, а также относительной дешевизне, чугуны широко применяются в машиностроении. Хорошая жидкотекучесть и малая усадка позволяют получать качественные отливки сложной формы при малой толщине стенок.

Выплавляют чугуны в доменных печах, в которых получают переплавные (белые), специальные (ферросплавы) и литейные (серые) чугуны. Литейные переплавляют в вагранках или электропечах. В процессе переплавки из чугуна путем окисления удаляется некоторое количество серы и фосфора. В химический состав чугуна кроме железа и углерода входят марганец, кремний, сера и фосфор.

Классификация чугунов в зависимости от химического состава, количества цементита, структуры свободного графита и уровня механических свойств:

1. Белые чугуны – весь углерод в связанном состоянии в виде цементита, имеющий в изломе белый блестящий цвет.

2. Серые чугуны, в которых весь углерод или большая его часть находится в виде графита пластинчатой формы, придающий излому серый цвет.

3. Высокопрочные чугуны, имеющие частицы графита шаровидной формы.

4. Ковкие чугуны с хлопьевидными частицами графита.

5. Специальные чугуны с легирующими добавками и особыми свойствами.

Белый чугун получил своё название по виду излома, который имеет матово-белый цвет. Белые чугуны выпускают для производства стали. Они имеют пониженное содержание кремния (0,3-1,25 %), весь углерод находится в связанном состоянии, в основном в виде цементита. Вследствие присутствия цементита чугуны хрупки, имеют высокую твердость (HB 450-550), не поддаются обработке резанием и для изготовления деталей машин не используются. Белый чугун служит для получения ковкого чугуна с помощью графитизирующего отжига. Ограниченное применение находят чугунные отливки с отбеленной поверхностью. Высокая поверхностная твердость дает высокую износостойкость. Их применяют для изготовления валков прокатных станов, шаров мельниц для размола породы, тормозных колодок.

Серый чугун имеет в металлической основе включения пластинчатого графита, образовавшегося в процессе графитизации. Излом от наличия графита имеет серый цвет.

Серые чугуны содержат железо, углерод, кремний, марганец и вредные примеси – серу и фосфор. Фосфор частично растворяется в феррите (0,3%) и входит в тройную эвтектику (Fe-C-P) с температурой плавления 950°C. Это улучшает литейные свойства чугуна. *Сера* снижает механические и литейные свойства чугунов и повышает склонность к образованию трещин.

Кремний входит в состав серых чугунов (1 - 3,0%) и обладает сильным графитизирующим действием.

Марганец (0,2 - 1,1%) положительно влияет на механические свойства чугуна, затрудняет графитизацию и способствует отбеливанию чугуна.

Устанавливая содержание углерода (2,2 - 3,7%) и кремния (1 - 3,0%) в чугуне, задавая скорость охлаждения металла в форме, можно изменять степень графитизации и получать структуру отливки с определенными свойствами. С целью улучшения свойств в чугуны могут вводиться легирующие элементы, хром, никель, медь.

По структуре металлической основы серые чугуны разделяют на три вида:

- - серый перлитный со структурой перлит + графит (связанный углерод $C = 0,8\%$);
- - серый ферритно-перлитный со структурой феррит + перлит + графит (связанный углерод $<0,8\%$);
- - серый ферритный со структурой феррит + графит (весь углерод C в виде графита).

Механические свойства серого чугуна зависят от свойств металлической основы и ее количества, формы и размера графитных включений (пустот). Графит по сравнению с матрицей (основой) обладает низкими механическими свойствами и, в известной степени, можно считать его как пустоты и трещины. При действии растягивающих напряжений образуются центры разрушения на

краях графитных включений. Значительно лучше ведет себя чугун при напряжениях сжатия и изгиба.

В соответствии с ГОСТ 1412-85 [17] серый чугун маркируют буквами СЧ и цифрой, обозначающей временное сопротивление при растяжении в МПа, уменьшенное в 10 раз ($0,1 \sigma_B$).

Пример: СЧ10 – чугун серый, временное сопротивление при испытании на растяжение (предел прочности) $\sigma_B = 100$ МПа.

Серый чугун характеризуется низкими механическими свойствами при растяжении, хорошей жидкотекучестью, легко обрабатывается резаньем, обладает хорошими антифрикционными свойствами, гасит вибрации и резонансные колебания, обладает плохой свариваемостью.

Графит способствует измельчению стружки при обработке резаньем и оказывает смазывающее действие, что повышает износостойкость чугуна.

Ферритные серые чугуны марок СЧ10, СЧ15 используются для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, суппорты, тормозные барабаны, диски сцепления и т.д.

Ферритно-перлитные серые чугуны марок СЧ20, СЧ25 применяются для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: картеры двигателей, поршни цилиндров, тормозные барабаны, станины станков.

Перлитный чугун применяют для отливки станин прессов, станков, молотов. Используют перлитные серые модифицированные чугуны. Их получают при добавлении в жидкий чугун перед разливкой специальных добавок – ферросилиция (0,3 - 0,6%) или силикокальция (0,3 - 0,5% от массы шихты). Перлитные чугуны СЧ40 и СЧ45 применяются для изготовления корпусов насосов, компрессоров и гидроприводов.

Серым вермикулярным чугуном называется чугун с волокнистой (червеобразной) формой графита. Графитная составляющая представляет собой утолщенные и большей частью неразветвленные короткие прожилки. Механические свойства вермикулярного чугуна зависят от характера металлической основы [3].

Чугун с вермикулярным графитом в отличие от обычного серого чугуна обладает более высокой жидкотекучестью и не снижает механические свойства в отливках большого сечения. Применение чугунов с вермикулярным графитом позволяет повысить качество и эксплуатационную надежность отливок, а так же снизить их массу по сравнению с отливками из обычного серого чугуна на 25-30 %.

В соответствии с ГОСТ 28394-89 [18] условное обозначение марки вермикулярного чугуна включает: букву **Ч** - чугун; буквы **ВГ** - вермикулярная форма графита и цифровое обозначение минимального значения временного сопротивления разрыву при растяжении в МПа, уменьшенное в 10 раз ($0,1 \sigma_B$).

Пример: ЧВГ 30 – чугун для отливок с вермикулярным графитом, временное сопротивление при растяжении $\sigma_B = 300$ МПа.

Для изготовления отливок выпускают чугуны следующих марок:

ЧВГ 30, ЧВГ 35, ЧВГ 40, ЧВГ 45.

Чугуны с вермикулярной формой графита применяют для отливки базовых деталей станков, кузнечно-прессового оборудования. Из чугуна марки ЧВГ 45 отливают корпуса винтовых передач, корпуса гидроаппаратуры высокого давления, эксцентриковые зубчатые колеса.

Высокопрочный чугун имеет графит шаровидной формы. Такая форма графитовых включений имеет меньшую поверхность по сравнению с пластинчатой и хлопьевидной при одинаковом объеме, уменьшает концентрацию напряжений.

Шаровидную форму графита получают модифицированием чугуна, находящегося в жидком состоянии, магнием или введением магниевых лигатур с никелем или ферросилицием.

После модифицирования чугун имеет химический состав:

3,0 - 3,6% С; 1,8 - 2,9% Si; 0,4 - 0,7% Mn; 0,02 - 0,08% Mg; <0,15% P; <0,03% S

В соответствии с ГОСТ 7293-85 [19] высокопрочный чугун маркируют буквами **ВЧ** и цифрой, обозначающей временное сопротивление разрыву при растяжении в МПа, уменьшенное в 10 раз (0,1 σ_B).

Пример: ВЧ45 – чугун высокопрочный, временное сопротивление разрыву при растяжении $\sigma_B = 450$ МПа.

Высокопрочные чугуны на

- *ферритной основе* ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45 имеют $\delta = 22 - 10$ %, твёрдость 140-225НВ,

- *перлитной основе* ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100 имеют $\delta = 7 - 2$ %, твёрдость 153 - 360 НВ.

Высокопрочные чугуны близки по свойствам к литой углеродистой стали, но обладают лучшими литейными свойствами, высокой коррозионной стойкостью и жаростойкостью, имеют хорошие антифрикционные и литейные свойства, достаточную износостойкость, легко обрабатывается резаньем.

Из высокопрочных чугунов изготавливают ответственные детали, работающие в условиях знакопеременных нагрузок: зубчатые колеса, коленчатые валы, кронштейны, ступицы, шатуны, тормозные барабаны, поршневые кольца, подвески рессор, блоки цилиндров.

Иногда для улучшения механических свойств применяют термическую обработку (ТО) отливок: закалку и отпуск при 500 - 600°C, для увеличения пластичности – отжиг. Одновременно с повышением пластичности при ТО снижаются остаточные напряжения в отливках, что повышает их работоспособность.

Специальные чугуны имеют в своем составе легирующие элементы, которые изменяют свойства чугунов, делая их жаростойкими (ГОСТ 7769-82 [20]), жаропрочными, жаростойкими, трещиностойкими коррозионно-стойкими. К этой группе можно отнести немагнитные, износостойкие и антифрикционные чугуны.

Для получения специальных эксплуатационных свойств производится легирование чугуна Mn, Ni, Cr, Al, Mo, Si, Ti. Маркировка осуществляется по аналогии со сталями с помощью буквенно-цифровых обозначений. В

обозначениях марок чугуна буква **Ч** – обозначает чугун. Содержание легирующих элементов в чугунах указывается буквой, обозначающей элемент (табл. 5.1). Цифры, стоящие после буквы, обозначают примерную массовую долю легирующих элементов. Если в конце маркировки стоит буква Ш, это указывает на то, что графит в чугуне имеет шаровидную форму, если Ш отсутствует, то графит пластинчатый

По сумме легирующих элементов различают чугуны низколегированные (до 5 %) и высоколегированные (5 - 30 %).

Таблица 5.1

Условные обозначения легирующих элементов в маркировках чугунов

Наименование легирующего элемента	Химический знак	Обозначение в маркировке чугуна
Алюминий	Al	Ю
Кремний	Si	С
Марганец	Mn	Г
Медь	Cu	Д
Молибден	Mo	М
Никель	Ni	Н
Титан	Ti	Т
Фосфор	P	П
Хром	Cr	Х

Примеры:

ЧНХТ – чугун никелевый с содержанием никеля, хрома и титана до 1 %.

ЧГ6С3Ш - чугун марганцевый с содержанием марганца 6%, кремния 3%, имеет шаровидную форму графитовых включений.

Жаростойкость серых и высокопрочных чугунов повышают за счет легирования их хромом (ЧХ28, ЧХ32) и кремнием (ЧС5). Окалиностойкостью и коррозионной стойкостью обладают аустенитные чугуны, легированные никелем и медью: ЧН15Д7 и ЧН15Д3Ш. Для повышения коррозионной стойкости кремнистых чугунов их легируют молибденом (ЧС15М4). В качестве жаропрочных чугунов используют аустенитные чугуны с шаровидным графитом ЧН19Х3Ш и ЧН11Г7Ш.

В качестве немагнитных применяются также аустенитные чугуны в тех случаях, когда требуется минимальная потеря мощности (крышки масляных выключателей, концевые коробки трансформаторов) или требуется избегать искажений магнитного поля (стойки для магнитов).

К износостойким относятся половинчатые и отбеленные чугуны, легированные никелем и хромом (ЧН2Х, ЧН4Х2). Из этих чугунов отливают детали двигателей внутреннего сгорания (крышки и днища цилиндров, головки поршней).

Антифрикционные чугуны (ГОСТ 1585-85 [21]) обеспечивают низкое трение в местах контакта деталей друг с другом. Хорошие антифрикционные

свойства чугуна достигаются за счет получения структуры с определенным соотношением перлита и феррита в основе, а также количеством и формой графита.

В обозначении марки антифрикционных чугунов: АЧ обозначает - антифрикционный чугун: С – чугун серый с пластинчатым графитом; В - высокопрочный с шаровидным графитом; К - ковкий с компактным графитом; цифра указывает на различный химический состав и порядковый номер марки.

Антифрикционные серые чугуны на перлитной (АЧС-1, АЧС-2) и феррито-перлитной основе (АЧС-3) выпускаются шести марок.

Антифрикционные феррито-перлитные ковкие чугуны АЧК-1 и АЧК-2 нашли применение для изготовления деталей, работающих в парах трения.

Антифрикционные чугуны с шаровидным графитом изготавливают двух марок: АЧВ-1 с перлитной структурой и АЧВ-2 с феррито-перлитной структурой. Эти чугуны используются для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закалённым или нормализованным валом. АЧВ-2 применяют для пары с валом в состоянии поставки («сырым»).

Практическая часть

Для выполнения практической работы каждый студент получает у преподавателя вариант задания (см. таблицу 5.3).

Необходимо дать характеристику семи различных чугунов указать:

- группу чугуна;
- механические свойства чугуна по марке;
- химический состав чугуна по марке;
- форму графитовых включений и структуру металлической основы
- основную характеристику и область применения чугуна.

Практическое задание следует представить в виде таблицы 5.2

Таблица 5.2

Маркировка чугунов

Марка чугуна	Группа чугуна	Механические свойства	Химический состав, %	Форма графита	Характеристика и область применения

Пример заполнения таблицы 5.2

Таблица 5.2

Маркировка чугунов

Марка чугуна	Группа чугуна	Механические свойства	Химический состав, %	Форма графита	Характеристика и область применения
СЧ15	серый	$\sigma_B = 150 \text{ МПа}$	2,2 - 3,7% C; 1,0–3,0% Si; 0,2–1,1%Mn; 0,3% P; 0,15% S	пластинчатая	ферритный серый чугун, <i>изготавливают:</i> слабо- и средненагруженные детали: крышки, фланцы, маховики, суппорты, тормозные барабаны, диски сцепления
ЧН19Х3 Ш	специальный	-	19% Ni 3%Cr	шаровидная	аустенитный, высоколегированный, жаропрочный, маломагнитный чугун, <i>изготавливают</i> выпускные коллекторы, головки поршней, корпуса насосов, вентили

Таблица 5.3

Варианты заданий к практической работе «маркировка чугунов»

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
ВЧ50	ВЧ100	ЧВГ 40	ЧВГ 35
СЧ12	АЧК-1	ВЧ45	СЧ 10
АЧС-2	СЧ15	СЧ18	ВЧ35
ЧВГ 30	ЧВГ 45	АЧС-1	АЧВ-1
ЧС17М3	ЧН2Х	ЧС5	ЧН15Д3Ш
ЧХ1	ЧС13	ЧН20Д2Ш	ЧХ2
ЧН11Г7Ш	ЧН19Х3Ш	ЧГ8Д3	ЧС15М4
Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
ЧВГ 30	АЧК-2	ВЧ50	ЧН15Д7
АЧС-3	ЧХ28	СЧ12	ЧВГ 45
СЧ20	СЧ25	АЧВ-2	СЧ30

ВЧ100	ВЧ40	ЧВГ 40	ВЧ80
ЧН4Х2	ЧВГ 35	ЧС15М4	АЧС-4
ЧХ16	ЧНДХМШ	ЧХ3	ЧХ32
ЧЮ22Ш	ЧГ7Х4	ЧНДХМШ	ЧС5Ш
Вариант 9	Вариант 10	Вариант 11	Вариант 12
СЧ 35	ЧВГ 30	АЧС-2	ВЧ70
ЧН11Г7Ш	ЧС5	СЧ24	ЧС15
ВЧ60	СЧ40	ВЧ45	СЧ45
АЧС-5	ВЧ35	ЧН4Х2	АЧК-2
ЧВГ 45	АЧК-1	ЧВГ 35	ЧВГ 40
ЧХ22	ЧХ16М2	ЧЮ30	ЧХ28П
ЧЮ6С5	ЧН19Х3Ш	ЧН3ХМДШ	ЧНМШ
Вариант 13	Вариант 14	Вариант 15	Вариант 16
ЧЮ22Ш	ЧЮ6С5	ЧН19Х3Ш	СЧ24
СЧ21	ЧВГ 45	АЧС-5	ВЧ80
ВЧ35	СЧ10	СЧ18	АЧС-1
АЧС-6	ВЧ70	ВЧ40	ЧВГ 35
ЧВГ 40	АЧС-3	ЧВГ 30	ЧС13
ЧХ22С	ЧГ6С3Ш	ЧХ3Т	ЧГ6С3Ш
ЧС17	ЧХ28Д2	ЧЮХШ	ЧЮ7Х2
Вариант 17	Вариант 18	Вариант 19	Вариант 20
СЧ15	ВЧ80	СЧ10	ВЧ100
ВЧ40	СЧ30	ВЧ45	АЧС-6
АЧК-2	АЧС-1	АЧВ-2	СЧ44
ЧВГ 35	ЧВГ 40	ЧВГ 45	ЧВГ 30
ЧНХМД	ЧС17	ЧН11Г7Ш	ЧХ32
ЧС5Ш	ЧЮ7Х2	ЧНХТ	ЧН19Х3Ш
ЧХ9Н5	ЧН20Д2Ш	ЧХ16М2	ЧС17М3

Продолжение таблицы 5.3

Вариант 21	Вариант 22	Вариант 23	Вариант 24
СЧ35	ВЧ100	ВЧ50	СЧ40
ВЧ45	СЧ25	АЧК-1	ВЧ35
АЧС-2	АЧВ-1	СЧ10	АЧС-3
ЧВГ 30	ЧВГ 35	ЧВГ 40	ЧВГ 45
ЧГ7Х4	ЧН2Х	ЧНХТ	ЧХ22
ЧН3ХМДШ	ЧС15	ЧС17	ЧЮХШ
ЧЮ30	ЧГ6С3Ш	ЧН3ХМДШ	ЧГ8Д3
Вариант 25	Вариант 26	Вариант 27	Вариант 28
ВЧ50	ВЧ35	ВЧ60	ВЧ40
СЧ45	АЧВ-2	СЧ18	АЧС-6

АЧК-2	СЧ30	АЧК-1	СЧ25
ЧВГ 45	ЧХ3Т	ЧВГ 35	ЧС17
ЧС13	ЧВГ 30	ЧС15М4	ЧВГ 40
ЧЮ6С5	ЧГ8Д3	ЧХ28П	ЧГ7Х4
ЧН3ХМДШ	ЧНМШ	ЧН15Д3Ш	ЧЮХШ
Вариант 29	Вариант 30	Вариант 31	Вариант 32
СЧ21	ВЧ60	ВЧ70	СЧ15
ВЧ60	СЧ40	СЧ24	ВЧ45
АЧВ-1	АЧС-4	АЧС-1	АЧВ-2
ЧВГ 40	ЧН11Г7Ш	ЧВГ 30	ЧХНТ
ЧС15	ЧВГ 35	ЧХ32	ЧВГ 30
ЧХ28Д2	ЧЮ30	ЧН15Д7	ЧН3ХМДШ
ЧН15Д3Ш	ЧС5Ш	ЧЮ22Ш	ЧЮ7Х2

Практическая работа № 6

МАРКИРОВКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель практической работы: изучить принципы обозначения марок цветных металлов и сплавов на их основе, научиться читать маркировку.

Термины и определения

Бронза – сплавы меди с различными элементами, в числе которых совместно с другими элементами может быть цинк. По основному легирующему элементу бронзы делятся на оловянные, алюминиевые, кремнистые, бериллиевые, свинцовые и др. [1]

Латуни – сплавы меди с цинком (до 45 %), в которые можно добавлять другие легирующие элементы.

Легирование – введение в металл или сплав химических элементов с целью придания определённых физико-химических или механических свойств (коррозионной стойкости, прочности, упругости, электросопротивления и др.)

По технологическому признаку бронзы и латуни делятся на:

литейные — для фасонного литья, обладающие хорошей жидкотекучестью;
деформируемые (обрабатываемые давлением) для изготовления листов, лент, труб, проволоки и других полуфабрикатов.

Многообразие цветных металлов и сплавов не позволяет ввести единой системы классификации и маркировки. Многие цветные сплавы разрабатывали внутри отдельных отраслей металлургии и машиностроения, поэтому они имеют отличные от других обозначения.

Существует несколько признаков классификации.

По их характерным свойствам цветные металлы можно разделить на следующие группы:

- легкие металлы (плотность менее 5 г/см³): Mg, Be, Al, Ti;
- тяжелые металлы (плотность более 10 г/см³): Pb, Mo, W;
- легкоплавкие металлы: Sn, Pb, Zn;
- тугоплавкие металлы (температура плавления $t_{пл} > 1539^{\circ}\text{C}$): W, Mo, Ta, Nb;
- благородные металлы: Au, Ag, Pt, Pd;
- урановые металлы: U, Th, Ra;
- редкоземельные металлы: лантаноиды La, Ce, Pr, Sm ,
- щелочноземельные металлы: Na, K, Li, Ca и т.д.

По назначению цветные металлы и сплавы можно разделить на 2 группы:

- 1) конструкционные материалы, используемые для изготовления различных деталей, узлов машин и конструкций;
- 2) металлы и сплавы с особыми физическими свойствами:
 - материалы с особыми электрическими свойствами;
 - материалы с особыми магнитными свойствами;
 - материалы с особыми тепловыми свойствами.

Учитывая, что один и тот же металл часто является основой сплавов разного назначения, распространена классификация и маркировка металлических сплавов по основному металлу.

Маркировка осуществляется с помощью буквенно-цифровых обозначений. Содержание легирующих элементов указывается русскими прописными буквами, обозначающими элемент (табл. 6.1). Цифры, стоящие после буквы, обозначают примерную массовую долю основных легирующих элементов сплава в %, либо условную степень чистоты основного металла. Иногда число в марке представляет просто порядковый номер сплава.

Таблица 6.1.

Условные обозначения химических элементов в марках
цветных металлов и сплавов

Элемент	Химический символ	Обозначение элемента
Алюминий	Al	А
Бериллий	Be	Б
Железо	Fe	Ж
Иридий	Ir	И
Кадмий	Cd	Кд
Кремний	Si	К
Магний	Mg	Мг
Марганец	Mn	Мц
Медь	Cu	М
Мышьяк	As	Мш
Никель	Ni	Н
Олово	Sn	О
Ртуть	Hg	Р
Свинец	Pb	С
Сурьма	Sb	Су
Теллур	Te	Те
Титан	Ti	Т
Фосфор	P	Ф
Хром	Cr	Х
Цинк	Zn	Ц

6.1 Алюминий и сплавы на его основе

Одним из наиболее легких конструкционных материалов является алюминий. Его плотность $2,7 \text{ г/см}^3$, температура плавления $658 \text{ }^{\circ}\text{C}$. В отожженном состоянии алюминий обладает малой прочностью ($\sigma_{\text{в}} = 80\text{-}120 \text{ МПа}$) и твердостью (25 НВ), но большой пластичностью ($\delta = 35\text{-}45 \text{ \%}$). Отличается высокой коррозионной стойкостью в пресной воде и атмосфере. Алюминий получают из руд, содержащих оксиды алюминия

Благодаря высокой пластичности и электропроводности алюминий широко применяют в электротехнической промышленности для изготовления проводов, кабелей; в авиационной промышленности – труб, маслопроводов и бензопроводов; в легкой и пищевой промышленности – фольги, посуды. Алюминий используют как раскислитель при производстве стали. Ввиду низкой прочности и незначительной упрочняемости при пластической деформации в холодном состоянии технически чистый алюминий как конструкционный материал применяют сравнительно редко.

Алюминий первичный ГОСТ Р 55375-2012 [22] в зависимости от химического состава подразделяют на алюминий высокой и технической чистоты. Маркируется алюминий буквой **А**, после которой указывается чистота материала в виде дробной части содержания основного металла в весовых %.

Алюминий высокой чистоты выпускают А995; А99, А98, А97, А95, а технической чистоты – А85, А8, А7, А7Е, А7Э, А6, А5Е, А5, А35, А0.

Примеры:

А995 – первичный алюминий высокой чистоты с содержанием Al 99,995%.

А5 – первичный алюминий технической чистоты с содержанием Al 99,50%.

Алюминиевые первичные сплавы разделяют на сплавы алюминиевые деформируемые и алюминиевые литейные.

Деформируемые алюминиевые сплавы ГОСТ 4784–97 [23]

Алюминий технически чистый маркируется буквами **АД** (алюминий деформируемый) и порядковым номером ГОСТ, а далее следует цифровое обозначение марки.

Алюминий технически чистый выпускается следующих марок АД 000; АД00 1010; АД00Е 1010Е; АД0 1011; АДЕ 1011Е; АД1 1013; АД 1015.

Индекс **Е** применяется для обозначения марки алюминия с гарантированными электрическими характеристиками. Если после марки стоит буква **Ш** – металл для изготовления пищевой посуды.

Технический алюминий как конструкционный материал применяют для ненагруженных деталей и элементов конструкций, когда от материала требуется легкость, свариваемость, пластичность. Алюминий широко применяют в электротехнической промышленности для изготовления проводов, кабелей; в авиационной промышленности – труб, маслопроводов и бензопроводов; в легкой и пищевой промышленности – фольги, посуды. Алюминий используют как раскислитель при производстве стали.

Сплавы алюминий-магний-кремний (Al – Mg – Si авиали). Выпускается следующих марок АД31 1310; АД31Е 1310Е; АД33 1330; АД35 1350; АВ 1340. Это сплавы со средней прочностью, но высокими технологичностью и стойкостью против атмосферной коррозии. Высокая пластичность после закалки облегчает обработку сплавов давлением. Из авиалий изготавливают кованые и штампованные детали сложной формы. Сплав АД31 1310 используют в строительстве для изготовления оконных рам, для внутренней отделки кабин самолётов и автомобилей; из сплава АВ 1340 изготавливают лонжероны лопастей винтов вертолетов.

Коррозионно-стойкие сплавы (Al - Mg, Al - Mn). Сплавы относятся к неупрочняемым термообработкой и отличаются высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, хорошо штампуются и свариваются, но имеют невысокую прочность.

Сплавы системы Al - Mn выпускают марок: ММ 1403; АМц 1400; АМцС 1401; Д12 1521. Сплавы системы Al - Mg маркируют буквами АМг, цифра указывает на содержание магния в весовых %, а далее следует цифровое обозначение марки.

Пример. Сплав АМг2 1520— алюминиевый сплав с содержанием 2 % магния, цифровое обозначение марки 1520.

Сплавы применяют для изготовления бензиновых баков, проволоки, заклёпок, деталей двигателей и систем распределения выхлопных газов, деталей вагонов.

Дуралюмины (сплавы системы Al – Cu - Mg). Деформируемые термически упрочняемые сплавы. Термообработка дуралюмина заключается в закалке и старении. В результате термической обработки прочность дуралюмина повышается в два раза, а пластичность практически не меняется.

Достоинством дуралюмина является высокая удельная прочность (отношение предела прочности к плотности), что особенно важно в самолетостроении. Маркируются сплавы буквой Д и порядковым номером и цифровым обозначением марки ГОСТ 4784–97 [23]. Деформируемые сплавы, предназначенные для изготовления проволоки, дополнительно маркируется буквой «П».

Примеры:

Сплав Д16 1160— дуралюмин № 16, цифровое обозначение марки 1160.

Сплав Д19П 1197— дуралюмин № 19, цифровое обозначение марки 1197, предназначен для изготовления проволоки.

Дуралюмины применяются как конструкционный материал для авиационного и транспортного машиностроения. Из сплава Д1 1110 делают лопасти винтов, из Д16 1160 - несущие элементы фюзеляжей самолетов, сплав Д18 1180 - один из основных заклепочных материалов.

Ковочные сплавы (системы Al – Cu - Mn). Сплавы марки АК4 1140; АК4-1 1141; АК4-1ч; АК6 1360, АК8 1380 обладают хорошей пластичностью, стойки к образованию трещин при горячей пластической деформации. Отличаются от дуралюминов повышенным содержанием кремния (0,7- 1,2 %). Маркируется ковочный сплав буквами **АК**, цифры после букв указывают порядковый номер сплава и цифровое обозначение марки ГОСТ 4784–97.

Пример. Сплав АК6 1360— алюминиевый ковочный сплав № 6, цифровое обозначение марки 1360, применяется для изготовления средненагруженных деталей сложной формы.

Сплавы АК применяют после закалки и старения для изготовления высоконагруженных штампованных деталей – поршни, лопасти винтов, крыльчатки насосов.

Высокопрочные алюминиевые сплавы (системы Al – Zn – Mg) маркируют буквой **В** и их порядковым номером и цифровым обозначением марки ГОСТ

4784–97 [23]. Дополнительные строчные индексы указывают на количество примесей в сплаве: **ч** – чистый, **пч** – повышенной чистоты, **оч** – особой чистоты и свойства сплава: **л** – литейный, **с** – селективный.

Пример. Сплав В95оч – высокопрочный алюминиевый сплав № 95, особой чистоты.

Сплавы применяют для изготовления высоконагруженных конструкций, работающих в основном в условиях напряжения сжатия. В авиастроении из них изготавливают обшивки, шпангоуты, шасси, лонжероны самолетов.

Сплавы, предназначенные для изготовления сварочной проволоки ГОСТ 4784–97[23] маркируются буквами **Св**. Выпускаются марок Св А99, СвА85Т, СвАМг5 и др. Они содержат в своём составе кремний и железо. Для всех марок, кроме марок СвАМг3, СвАК5, СвАК10, соотношение железа и кремния должно быть больше единицы.

Литейные алюминиевые сплавы ГОСТ 1583–93 [24]. Главным достоинством литейных сплавов являются высокая жидкотекучесть, небольшая усадка, хорошие механические свойства.

Силумины литейные алюминиевые сплавы системы **Al – Si** с содержанием 10 - 13 % кремния. Силумины выпускается следующих марок АК12ч (СИЛ-1),

АК12пч (СИЛ-0), АК12оч (СИЛ-00), АК12ж (СИЛ-2). Используются в крупносерийном производстве мало- и средненагруженных деталей, так как обладают хорошей герметичностью. Из них изготавливают детали сложной конфигурации - корпуса отбойных молотков.

Согласно ГОСТ 1583–93 [24] в марке литейных сплавов после буквы **А** стоят буквы, обозначающие легирующие элементы (табл. 4.1), и сразу после нее – число весовых процентов данного элемента (середина марочного интервала), дополнительные строчные индексы указывают на количество примесей в сплаве: **ч** – чистый, **пч** – повышенной чистоты, **оч** – особой чистоты и свойства: **л** – литейный; **с** – селективный. ГОСТ1583–93 предусматривает указание в скобках указание старой марки сплава (**АЛ** – алюминий литейный с порядковым номером).

Примеры:

Сплав АК9пч (АЛ 4-1) – алюминиевый литейный сплав с содержанием 9 % кремния, повышенной чистоты.

Сплав АМ5 (АЛ 19) – алюминиевый литейный сплав с содержанием 5 % меди.

ГОСТ 1583–93 [24] указывает, что к литейным относятся следующие группы:

I - Сплавы на основе системы алюминий-кремний - магний **Al – Si – Mg**
(АК12; АК9с; АК13; АК7пч);

II - Сплавы на основе системы алюминий - кремний - медь **Al – Si – Cu**
(АК5М, АК6М2, АК5М, АК8М3ч, АК12М2МгН)

III - Сплавы на основе системы алюминий-медь **Al – Cu**
(АМ5, АМ4,5Кд)

IV - Сплавы на основе системы алюминий-магний **Al – Mg**
(АМг4К1,5М, АМг6лч, АМг10ч, АМг11)

V - Сплавы на основе системы алюминий - прочие компоненты

Наибольшее распространение среди алюминиевых литейных сплавов системы алюминий-кремний – магний получили: сплав АК12 (АЛ2) - для изготовления тонкостенных деталей сложной формы при литье в землю; сплав АК9ч (АЛ4) - для высоконагруженных деталей ответственного назначения: корпуса компрессоров, блоки двигателей поршни цилиндров; сплав АК7ч (АЛ9) - для изготовления деталей средней нагруженности и сложной конфигурации, а также для деталей, подвергающихся сварке.

Сплав алюминия с медью — АМ5 (АЛ 19) имеет низкие литейные свойства и пониженную коррозионную стойкость, но обладает высокими механическими свойствами.

Сплавы алюминия с магнием (магналины) — АМг5К (АЛ13), АМг10 (АЛ27), АМг7 (АЛ29) обладают наиболее высокой коррозионной стойкостью и более высокими механическими свойствами после термической обработки, но литейные свойства их низкие. Сплав АМг5К используют для изготовления деталей морских судов, а также деталей, работающих при высоких температурах (головки цилиндров мощных двигателей воздушного охлаждения).

Антифрикционные алюминиевые сплавы ГОСТ 14113-78 [25] представляют собой сплавы алюминия с оловом АО3-7, АО9-2, АО9-1, АО6-1, АО12-1, АО20-1 (сплавы системы Al – Sn – Cu); никелем АН2,5 (Al — Ni); медью и другими элементами АМК (Al — Cu – Si), АМСТ (Al — Cu – Sb – Ti), АСМ (Al –Sb — Cu). Эти сплавы применяются для отливки моно- и биметаллических вкладышей и втулок.

6.2 Медь и сплавы на её основе

Чистая медь имеет розовато-красный цвет, плотность ее $8,93 \text{ г/см}^3$, температуру плавления $1083 \text{ }^\circ\text{C}$. В отожженном состоянии $\sigma_{\text{в}} = 250 \text{ МПа}$, $\delta = 45\text{-}60 \text{ } \%$, твердость 60 НВ. Благодаря высокой электропроводности около половины всей произведенной меди используют в электро- и радиотехнической промышленности для изготовления проводников, монтажных и обмоточных проводов, токопроводящих деталей приборов, аппаратов, в электровакуумной технике.

Буквой **М** в начале марки обозначают чистую медь и медно-никелевые прецизионные сплавы. Конструкционные медные сплавы имеют исторически сформировавшиеся названия – латуни и бронзы. Латунями называют медные сплавы, в которых основным легирующим элементом является цинк. Сплавы меди со всеми другими элементами называют – бронзы.

Медь чистая. Чистоту меди ГОСТ 859–2014 [26] обозначают числом, стоящим после буквы **М**. Чем меньше число, тем более чистый металл (00 – высокочистая, 0 – чистая, 1, 2, 3 – технически чистая). Строчные буквы в конце марки обозначают технологию обработки металла: **к** – катодная; **б** – безкислородная; **р** – раскисленная, **ф** – раскисленная фосфором. В обозначение меди марок М1 и М1р, предназначенной для электротехнической

промышленности и подлежащей испытаниям на электропроводность, дополнительно включают букву Е.

Пример. Медь М1к – медь технически чистая № 1 катодная, 0,1 % примесей.

Медь марок М00 (0,01 % примесей), М0 (0,05 % примесей) и М1 (0,1 % примесей) используется для изготовления проводников электрического тока, медь М2 (0,3 % примесей) – для производства высококачественных сплавов меди, М3 (0,5 % примесей) – для сплавов обыкновенного качества.

Различают две группы медных сплавов:

- латуни – сплавы меди с цинком;
- бронзы – сплавы меди с другими элементами, в числе которых, но только наряду с другими, может быть цинк.

Латуни. Механические свойства латуни – прочность и пластичность – выше, чем меди, она хорошо обрабатывается резанием, давлением, характеризуется высокими коррозионной стойкостью, теплопроводностью, электропроводностью. Маркировка латуней начинается с буквы Л. В зависимости от назначения и метода обработки латуни делят на литейные ГОСТ 17711–93 [27] и обрабатываемые давлением ГОСТ 15527–2004 [28]. По химическому составу различают простую (двойную) латунь, в которой содержатся только медь и цинк, и сложную (специальную), в которой кроме цинка содержатся легирующие элементы: никель, свинец, олово, кремний и др.

В марке латуни, **обрабатываемой давлением**, после буквы Л стоит содержание меди в весовых процентах. Простые латуни выпускают следующих марок: Л96, Л90, Л85, Л70, Л68, Л63, Л60. Все они являются деформируемыми. У специальных латуней после буквы Л идёт перечень всех букв легирующих элементов (табл. 6.1), входящих в состав сплава. Содержание этих элементов (в весовых %) указывается в конце марки через тире в том же порядке, что и указанные легирующие вещества. Содержание главного легирующего элемента в латуни цинка получается как остаток до 100 %.

Пример. ЛАНКМц75–2–2,5–0,5–0,5 – обрабатываемая давлением латунь содержит 75 % меди, легирована 2 % алюминия, 2,5 % никеля, 0,5 % кремния, 0,5 % марганца, содержит 19,5 % цинка.

В марках **литейных латуней** после буквы Л стоит Ц и указывается содержание цинка, а количество легирующих элементов (в %) ставится после букв, их обозначающих. (табл. 6.1). Содержание главного элемента в латуни меди получается как остаток до 100 %.

Пример. ЛЦ23А6ЖЗМц2 – литейная латунь с содержанием 23 % цинка, 6 % алюминия, 3 % железа, 2 % марганца, 66 % меди.

Специальные латуни можно различать в зависимости от основного легирующего элемента.

Алюминиевые латуни обладают повышенными механическими свойствами и коррозионной стойкостью.

Кремнистые латуни отличаются высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в морской воде, высокими механическими свойствами.

Марганцевые латуни деформируются в горячем и холодном состоянии, обладают высокими механическими свойствами, стойкие к коррозии в морской воде и перегретом паре.

Никелевые латуни имеют высокие механические свойства, хорошо обрабатываемые давлением в горячем и холодном состоянии.

Оловянистые латуни отличаются повышенными антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью.

Свинцовые латуни характеризуются повышенными антифрикционными свойствами и хорошо обрабатываются резанием. Свинец в этих сплавах присутствует в виде самостоятельной фазы, практически не изменяющей структуры сплава.

Бронзы. По химическому составу бронзы классифицируются по названию основного легирующего элемента. При этом бронзы условно делят на два класса: оловянные (с обязательным присутствием олова) и безоловянные.

По применению бронзы делят на деформируемые (обрабатываемые давлением), технологические свойства которых допускают производство проката и поковок, и литейные, используемые для литья. В то же время многие бронзы, из которых производится прокат, используются и для литья. Бронзы немагнитны, коррозионно-стойки, имеют высокие коэффициенты теплопроводности и электропроводности, обладают антифрикционными свойствами.

Маркировка бронзы начинается с букв **Бр**. В зависимости от состава, назначения и метода обработки бронзы делят на литейные оловянные ГОСТ 613–79 [29] и безоловянные ГОСТ 493–79 [30]; обрабатываемые давлением оловянные ГОСТ 5017–2006 [31] и безоловянные ГОСТ 18175–78 [32].

В марке **литейной бронзы** после обозначения Бр стоят буквы, обозначающие легирующие элементы (табл. 6.1), и сразу после них – число весовых процентов данного элемента (середина марочного интервала). Иногда в конце марки стоит буква **Л**, что означает - литейная.

Примеры.

БрО5Ц5С5 – литейная бронза с содержанием 5 % олова, 5 % цинка, 5 % свинца, 85 % меди.

БрА7Мц15Ж3Н2Ц2 – литейная бронза с содержанием 7 % алюминия, 15 % марганца, 3 % железа, 2 % никеля, 2 % цинка, 71 % меди.

Обрабатываемые давлением бронзы имеют в марке после Бр перечень всех букв легирующих элементов, входящих в состав сплава. Содержание всех этих элементов (в весовых %) указывается в конце марки через тире в том же порядке, что и указанные легирующие вещества.

Пример: БрОЦС4–4–4 – обрабатываемая давлением бронза с содержанием – 4 % олова, 4 % цинка, 4 % свинца, 88% – меди.

Специальные бронзы включают в свой состав алюминий, никель, кремний, железо, бериллий, хром, свинец и другие элементы. В название бронзы определяется основным легирующим компонентом.

Алюминиевые бронзы обладают высокими механическими, антифрикционными и противокоррозионными свойствами. Эти бронзы нашли

применение для изготовления ответственных деталей машин, работающих при интенсивном изнашивании и повышенных температурах.

Кремнистые бронзы характеризуются высокими антифрикционными и упругими свойствами, коррозионной стойкостью. Кремнистые бронзы применяют взамен оловянных для изготовления антифрикционных деталей, пружин, мембран приборов и оборудования.

Свинцовые бронзы используют в парах трения, эксплуатируемых при высоких относительных скоростях перемещения деталей. Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости свинцовые бронзы легируют никелем и оловом.

Бериллиевые бронзы отличаются высокими прочностными свойствами, износостойкостью и стойкостью к воздействию коррозионных сред. Они обеспечивают работоспособность изделий при повышенных температурах (до 500°C), хорошо обрабатываются резанием и свариваются. Бронзы этого типа используют для изготовления деталей ответственного назначения, эксплуатируемых при повышенных скоростях перемещения, нагрузках, температуре.

6.3 Медно-никелевые сплавы

Медно-никелевые сплавы ГОСТ 492–2006 [33] обладают особыми физическими и химическими свойствами. Сплавы меди с никелем подразделяют на конструкционные и электротехнические.

Коррозионностойкими сплавами являются мельхиоры (система Cu–Ni), нейзильберы (система Cu–Ni–Zn) и куниали (система Cu–Ni–Al).

Мельхиоры (МН19, МНЖМц30-0,8-1) обладают высокой коррозионной стойкостью и применяются для изготовления теплообменных аппаратов, штампованных и чеканных изделий, конденсаторных труб в морском судостроении, химической аппаратуры.

Нейзильберы (МНЦ15-20) имеют белый цвет, близкий к цвету серебра; при повышенном содержании Ni белый цвет с зеленоватым и синим отливом; хорошо сопротивляются атмосферной коррозии, применяются в приборостроении - приборы точной механики, производстве часов, плоские пружины реле, медицинский инструмент, монеты.

Куниали (МНА13-3, МНА6-1,5) подвергаются термической обработке (закалка-старение), служат для изготовления деталей повышенной прочности, пружин и ряда электротехнических изделий.

Копель (МНМц43-0,5) содержит 43 % Ni, 0,5 Mn. Это специальный сплав с высоким удельным электросопротивлением, используемый для изготовления электронагревательных элементов.

Реостатные сплавы – имеют высокое электрическое сопротивление: константан (содержит Ni 39-41 %, Mn 1-2 %); манганин (содержит Ni 2,5-3,5 %, Mn 11,6-13,5 %). Используют эти сплавы для изготовления обмоток потенциометров, катушек сопротивления, резисторов, терморезисторов, тензометрических датчиков.

Марка медно-никелевых сплавов начинается с буквы **М** (медь), затем идут буквы легирующих элементов (табл. 6.1) и в конце в том же порядке среднее содержание этих веществ в весовых процентах.

Пример. Сплав МНМц15-20 – медный сплав с содержанием 15 % никеля и 20 % марганца.

Практическая часть

Для выполнения практической работы каждый студент получает у преподавателя вариант задания (см. табл. 6.3).

Необходимо дать характеристику девяти различных сплавов указать:

- основной металл сплава;
- классификацию его и характеристику;
- химический состав сплава по марке;
- область применения сплава.

Таблица 6.2

Маркировка цветных металлов и сплавов

Марка сплава	Название сплава по классификации и его характеристика	Химический состав стали	Область применения стали

Пример заполнения таблицы 6.2

Таблица 6.2

Маркировка цветных металлов и сплавов

Марка сплава	Название сплава по классификации и его характеристика	Химический состав стали	Область применения стали
М1к	медь технически чистая № 1 катодная	0,1 % примесей	сырье для производства полуфабрикатов из меди и медных сплавов
АМг2 1520	алюминиевый сплав, цифровое обозначение марки 1520	Мг-магний Mg-2%	для изготовления бензиновых баков, проволоки, заклёпок
БрОФ6,5-0,4	бронза оловянная деформируемая	О-олово Sn-6,5% Ф-фосфор Р-0,4% медь Cu-93,1%	пружины, барометрические коробки, мембраны

ЛЦ23А6Ж3Мц2	литейная латунь	Ц-цинк Zn-23% А-алюминий Al-6% Ж-железо Fe-3% Мц-марганец Mn-2% медь Cu-66,0%	подшипники, втулки, вкладыши, нажимные винты, детали гидронасосов, детали для автомобильной промышленности.
-------------	-----------------	---	--

Таблица 6.3

Варианты заданий к практической работе
«маркировка цветных металлов и сплавов»

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
А5	А7Е	А97	А85
АК8л (АЛ34)	АМг5П	Д18 1180	Д1 1110
СвА97	АК7Ц9 (АЛ11)	АМг4К1,5М	АМг5Мц
М1р	М2	М2р	М1ф
БрА9Мц2Л	БрО10С10	БрСу3Н3Ц3С20Ф	БрА7Мц15Ж3Н2Ц2
ЛО70-1	Л63	ЛМш68-0,05	Л68
ЛЦ40Мц3А	БрАМц10-2	ЛЦ40С	БрОФ7-0,2
БрОЦС4-4-4	ЛЦ14К3С3	БрОЦС4-4-2,5	ЛОМш70-1-0,05
МНМц3-12	МНЦС16-29-1,8	МНА13-3	МН19
Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
А999	А99	А95	А999
В65	АК6	СвАК5	Д19 1190
АО9-2	АМг6лч (АЛ23-1)	АЦ4Мг (АЛ24)	АМг7 (АЛ29)
М3р	М3	М00к	М1
БрАЖ9-4	БрМг0,3	БрБНТ1,9	БрАЖН10-4-4
ЛЦ40Мц3Ж	ЛС59-3	ЛОМш70-1-0,05	ЛАМш77-2-0,05
ЛЖС58-1-1	ЛЦ38Мц2С2	БрОЦ4-3	ЛЦ30А3
БрО3Ц7С5Н1	БрОФ6,5-0,4	ЛЦ37Мц2С2К	БрО3Ц12С5
МНЦ18-27	МНЖКТ5-1-0,2-0,2	МНМц40-1,5	МНЖМц30-1-1
Вариант 9	Вариант 10	Вариант 11	Вариант 12
А7Е	А5	А5Е	А0
АМг3	В95	АМг3С	АО12-1
АК6М2	АК5М (АЛ5)	АК8М3ч	АК12ММгН(АЛ30)
М0к	М00	М00к	М0б
БрОФ6,5-0,15	БрС30	БрО4Ц7С5	БрО4Ц4С17
ЛЦ23А6Ж3Мц2	ЛЦ40Мц1,5	ЛМш68-0,05	ЛЖС58-1-1
БрА10Мц2Л	ЛАН59-3-2	ЛЦ16К4	БрКМц3-1
ЛК62-0,5	БрОФ8-0,3	БрА9Ж4Н4Мц1	ЛЦ25С2
МНЖ5-1	МНА6-1,5	НМЖМц28-2,5-1,5	МНЦ15-20

Вариант 13	Вариант 14	Вариант 15	Вариант 16
АД00	АД0	АД1	АД
СвФМг6	В95оч	Д16П	АК12оч (СИЛ-00)
АК12М2МгН	АК12М2	АК9М2	АМ5
М2р	М3	М2	М1к
БрО10Ц2	БрО5С25	БрО6Ц6С3	БрО8Ц4
Л80	ЛО90-1	ЛС63-3	ЛС59-1
ЛОК59-1-0,3	БрАМц9-2	БрАЖНМц9-4-4-1	БрКН1-3
БрКН1-3	ЛЦ40Мц3А	ЛЦ30А3	ЛЦ38Мц2С2
МН16	МНМц43-0,5	МНМцАЖ3-12-0,3-0,3	МН0,6

Продолжение таблицы 6.3

Вариант 17	Вариант 18	Вариант 19	Вариант 20
А995	А99	А95	А97
АО3-7	АМг6л (АЛ23)	СвАМг5	АМг10ч (АЛ27-1)
АК12	АК9	АК9ч	АК9пч
М00к	М0к	М00	М00б
БрА10Ж3Мц2	БрА11Ж6Н6	БрС30	БрО5Ц5С5
Л85	ЛО62-1	ЛКБО62-0,2-0,04-0,5	ЛА77-2
БрОФ4-0,25	ЛЦ40Мц3Ж	БрОЦС4-4-2,5	ЛЦ38Мц2С2
ЛАЖ60-1-1	БрОФ2-0,25	ЛЦ25С2	БрАЖМц10-3-1,5
МНЦ18-20	МН25	МНЖМЦ10-1-1	МН95-5
Вариант 21	Вариант 22	Вариант 23	Вариант 24
А0	А995	А99	А85
АЛ21	АВ	В95	АК6
АК7Ц9 (АЛ11)	СвАК5	Д18 1180	В95оч
М1р	М3	М1ф	М2
ЛЦ40Мц1,5	ЛЦ14К3С3	ЛЦ30А3	ЛЦ40С
БрАНЖ10-4-4	БрА11Ж6Н6	БрОФ8,5-0,3	БрСу3Н3Ц3С20Ф
ЛАМш77-2-0,04	ЛЖМц59-1-1	БрА9Ж3Л	БрОФ7-0,2
БрО4Ц4С17	БрОЦС4-4-4	ЛАМш77-2-0,05	ЛОК59-1-0,3
МНЦ12-24	МНЦС16-29-1,8	МНМц40-1,5	МНЦ15-20
Вариант 25	Вариант 26	Вариант 27	Вариант 28
А97	А8	А95	АД31 1310
Д19ч	АН-2,5	АК9ч (АЛ4)	АЛ29
СвА97	АЦ4Мг (АЛ24)	АМг5Мц	Д16П
М00б	М2р	М3р	М0б
ЛО60-1	ЛЦ37Мц2С2К	ЛЦ16К4	ЛАЖ60-1-1
ЛЦ23А6Ж3Мц2	БрА10Ж4Н4Л	БрАЖМц10-3-1,5	БрА9Ж3Л
БрАЖНМц9-4-4-1	БрОФ6,5-0,15	ЛОК59-1-0,3	БрОФ4-0,25

БрО5С25	ЛМц58-2	БрО6Ц6С3	ЛЦ37Мц2С2К
МНА13-3	МНМц3-12	МНА6-1,5	МНЖМц10-1-1
Вариант 29	Вариант 30	Вариант 31	Вариант 32
А999	А85	А8	А7
АМГ2	АМГ3	СвАМГ6	АК4
АЛ7	АК7пч	АК10Су	АК21М2,5Н2,5
М0	М0б	М00б	М1
БрОЦ4-3	БрАЖМц10-3-1,5	БрОФ2-0,25	БрАЖ9-4
ЛЖС58-1-1	ЛМц58-2	ЛЦ40Мц3Ж	ЛЖМц59-1-1
ЛЦ30А3	ЛЦ38Мц2С2	ЛАН59-3-2	ЛЦ16К4
БрА10Мц2Л	БрО10Ф1	БрО10Ц2	БрО10С10
МНЦ18-20	МНМц43-0,5	МНЖМц30-1-1	МН95-5

Практическая работа № 7

ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНОВ

Цель работы: изучение свойств мелкого (природного песка) и крупного (щебень, гравий) заполнителей и оценить пригодность тяжёлых заполнителя для изготовления бетона.

Термины и определения

Заполнители – природные или искусственные материалы определённого зернового состава, которые в смеси с раствором вяжущего вещества образуют бетон [2].

Заполнители служат для уменьшения усадки раствора, создания в нем скелета и уменьшения расхода вяжущего вещества.

По виду применяемых заполнителей бетоны бывают на плотных, пористых и специальных заполнителях.

Бетоны на плотных заполнителях изготавливают на заполнителях из горных пород или отходов промышленности со средней плотностью более 2000 кг/м³. Например, гранитный щебень, металлургические шлаки.

Бетоны на специальных заполнителях изготавливают на заполнителях, получаемых из материалов, придающих бетонам определённые свойства. Так заполнители из железных руд: лимонита, гематита, имеющие повышенную плотность, поглощают радиоактивные лучи. Их применяют в бетонах для защиты от радиоактивных излучений. Жаростойкие бетоны изготавливают, используя бой керамических изделий, шамотный щебень и песок.

По крупности зёрен заполнителей различают бетоны:

- **мелкозернистые** с размерами зёрен заполнителя не более 10 мм;
- **крупнозернистые** с размерами зёрен крупного заполнителя более 10 мм.

Мелкий заполнитель. В качестве мелкого заполнителя для бетонов применяют песок, который может быть природным или искусственным.

Природный песок — это рыхлая смесь зерен крупностью от 0,14 до 5 мм, полученных в результате естественного разрушения (выветривания) скальных горных пород. ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия».

Искусственный песок получают дроблением твердых горных пород либо некоторых побочных продуктов промышленности, например, металлургических шлаков. Форма зерен дробленых песков остроугольная, поверхность шероховатая. Эти пески не содержат вредных примесей, которые часто встречаются в природных песках. Требования, предъявляемые к искусственным пескам, должны соответствовать ГОСТ 31424-2010 «Материалы строительные нерудные из отсеков дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия», ГОСТ 5578-94 «Щебень и песок из шлаков чёрной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия»,

Песок для бетона должен состоять из зерен различного размера, чтобы его межзерновая пустотность была минимальной; чем меньше объем пустот в песке, тем меньше требуется цемента для получения плотного бетона. Крупный песок имеет относительно небольшую суммарную поверхность зерен, но обладает значительной пустотностью. У мелкого песка пустотность меньше, но общая поверхность зерен значительно больше. Использование мелкозернистых песков для приготовления растворов и бетонных смесей вызывает неоправданный перерасход цемента. Так, для получения 1 м³ удобоукладываемого раствора с применением мелкого и крупнозернистого песка требуется соответственно 0,5 и 0,35 м³ цементного теста.

В песке допускается не более 5% зерен размером от 5 до 10 мм. Наличие зерен диаметром более 10 мм не допускается. Оптимальный зерновой состав песка определяется ситовым методом и характеризуется содержанием в нем зерен различного размера.

Для определения *зернового состава песка* используют стандартный набор сит с отверстиями: 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 миллиметров. Сначала определяют частные остатки в процентах на каждом сите, а затем полные

Частным остатком на том или ином сите называют выраженное в процентах отношение массы остатка песка на этом сите ко всей просеиваемой массе песка [38]. По результатам просеивания вычисляют частный остаток на каждом сите в процентах по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (7.1)$$

где a_i - частный остаток на данном сите, %;

m_i - масса остатка на данном сите, г;

m - масса просеиваемой навески, г.

По частным остаткам вычисляют полные остатки на каждом сите, суммируя все предыдущие частные остатки.

Полный остаток на любом сите равен сумме частных остатков на этом сите и на всех вышерасположенных (более крупных) ситах.

$$\begin{aligned} A_{2,5} &= a_{2,5} \\ A_{1,25} &= a_{2,5} + a_{1,25} \\ A_i &= a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i \end{aligned} \quad (7.2)$$

где A_i - полный остаток на каждом сите, %;

$a_{2,5}, a_{1,25}, \dots, a_i$ - частные остатки на соответствующих ситах, %.

Величины полных остатков являются характеристикой зернового состава песка.

Зерновой состав песка для изготовления бетона определяют также по графику (рис.7.1). Для этого по горизонтали откладывают размеры отверстий контрольных сит в миллиметрах, по вертикали полные остатки на ситах в процентах. Полученные точки соединяют ломаной линией, которую называют «кривая зернового состава песка».

Если кривая лежит в пределах заштрихованной области стандартного графика, то песок пригоден для работы - для приготовления раствора, бетона.

Если кривая выходит за пределы заштрихованной области, то песок нужно обогатить, отсеивая ненужные фракции, или промыть его. Промывку и обогащение песка производят в карьере.

Данные для построения стандартного графика зернового состава песка приведены в таблице 1.

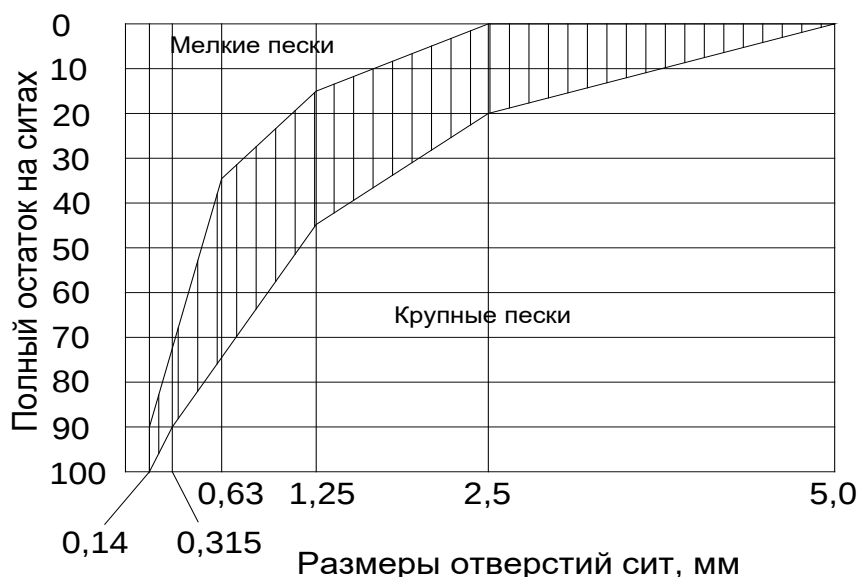


Рис. 7.1. График зернового состава песка

Таблица 7.1

Данные стандартного графика зернового состава песка

Размер контрольных сит, мм	0,14	0,315	0,63	1,25	2,5	5,0
Полный остаток на ситах по массе, %	90-100	70-90	35-75	15-45	0-20	0

На основании результатов ситового анализа песка можно рассчитать **модуль крупности** зерен M_k по формуле[35]:

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100} \quad (7.3)$$

В зависимости от зернового состава различают *песок повышенной крупности, крупный, средний, мелкий и очень мелкий* (табл.7.2).

Для приготовления тяжелого бетона рекомендуются крупные и средние пески с модулем крупности 2 - 3,5. Использовать для бетона мелкие и очень мелкие пески допускается только после технико-экономического обоснования, целесообразности их применения.

Классификация песка по модулю крупности

Группа песка	Полный остаток на сите с размером отверстий 0,63 мм, % по массе	Модуль крупности, M_k
Повышенной крупности	Более 65 до 75	Более 3,0 до 3,5
Крупный	Более 45 до 65	Более 2,5 до 3,0
Средний	Более 30 до 45	Более 2,0 до 2,5
Мелкий	Более 10 до 30 .	Более 1,5 до 2,0
Очень мелкий	До 10	Более 1,0 до 1,5

Зерновой состав песка различных месторождений, различных пластов одного и того же месторождения, а иногда в различных местах одного и того же пласта может быть неодинаковым. Зерновой состав существенно влияет на удельный расход цемента, на подвижность растворов и бетонных смесей, на прочность растворов и бетонов.

Наименьший расход цемента при прочих равных условиях можно обеспечить применением песков с малой пустотностью и наименьшей суммарной поверхностью частиц. Для улучшения гранулометрического состава песков, используемых в растворах и бетонных смесях, применяют фракционирование, т.е. добавление в песок в необходимых количествах крупных фракций.

Крупный заполнитель. В качестве крупных заполнителей для бетонов применяют щебень, щебень из гравия и гравий из плотных горных пород, щебень из отсеков дробления плотных горных пород, щебень из шлаков ТЭЦ.

Щебнем из природного камня называется грубообработанный каменный материал, полученный в результате дробления камней из горных пород, на куски размером 5 - 70 мм (для гидротехнического строительства до 150 мм).

Щебень дробят из магматических, плотных осадочных и метаморфических пород.

Гравием называется рыхлый материал, образованный в результате естественного разрушения (выветривания) горных пород. Он состоит из более или менее окатанных зерен размером 5-70 мм [2].

В зависимости от происхождения, различают гравий овражный (горный), речной и морской. Зёрна речного и морского гравия имеют более окатанную форму, что несколько снижает прочность сцепления с цементным раствором и прочность бетона. Гравий природного происхождения применяют в качестве крупного заполнителя для армированного и неармированного бетона, для приготовления гравийно-щебеночной смеси. Для массивных сооружений, таких как плотины, при редкой расстановке арматуры железобетонных конструкций можно использовать гравий с крупностью зерен до 120-150 мм.

Выбор крупного заполнителя определяется экономической целесообразностью. Щебень отличается от гравия остроугольной формой и шероховатой поверхностью зерен, сцепление его с цементно-песчаным

раствором лучше, чем гравия. Содержание в щебне вредных органических веществ незначительно. Для высокопрочных бетонов лучше применять щебень.

Щебень и гравий должны быть стойкими к воздействию окружающей среды и обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента. Стойкость щебня и гравия определяют по минералого-петрографическому составу исходной горной породы.

При выборе зернового состава крупного заполнителя для бетона необходимо исходить из основного требования: получить наименьший объем пустот в крупном заполнителе, и, следовательно, - наименьший расход цемента при заданной марке бетона. Окончательно пригодность гравия или щебня для бетона требуемой марки устанавливают по результатам испытания бетона, сделанного на данном заполнителе.

Щебень и гравий выпускают в виде следующих основных фракций: от 5 (3) до 10 мм; св. 10 до 20 мм; св. 20 до 40 мм; св. 40 до 80 (70) мм и смеси фракций

от 5 до 20 мм. Крупный заполнитель следует применять в виде отдельно дозируемых фракций при приготовлении бетонной смеси. Можно применять крупный заполнитель в виде смеси двух смежных фракций, согласно требованиям, приведённым в таблице 7.3.

Таблица 7.3.

Содержание отдельных фракций крупного заполнителя в составе бетона

Наибольшая крупность заполнителя, мм	Содержание фракций в крупном заполнителе, %				
	от 5 до 10 мм	св. 10 до 20 мм	св. 20 до 40 мм	св. 40 до 80 мм	св. 80 до 120 мм
10	100	-	-	-	-
20	25-40	60-75	-	-	-
40	15-25	20-35	40-65	-	-
80	10-20	15-25	20-35	35-55	-
120	5-10	10-20	15-25	20-30	25-35

Зерновой состав крупного заполнителя определяют просеиванием средней пробы массой 10 кг через стандартный набор сит с размерами отверстий 70, 40, 20, 10 и 5 мм и последующим взвешиванием остатков на каждом сите. Затем вычисляют в процентах частные и полные остатки и устанавливают наибольшую $D_{наиб}$ и наименьшую $D_{наим}$ крупность зерен заполнителя. За наибольшую крупность зерен принимают размер отверстия того *верхнего сита*, на котором полный остаток превышает 5%, за наименьшую — размер отверстия *первого снизу сита*, полный остаток на котором составляет не менее 95%. Кроме того, вычисляют значения $0,5(D_{наим} + D_{наиб})$ и $1,25 D_{наиб}$. Зерновой состав каждой фракции должен находиться в пределах указанных в таблице 7.4.

Таблица 7.4

Стандартный зерновой состав крупного заполнителя

Размер контрольных сит, мм	Наименьший размер зерен, $D_{\text{наим}}$	$0,5(D_{\text{наиб}} + D_{\text{наим}})$	$D_{\text{наиб}}$	$1,25 \cdot D_{\text{наиб}}$
Полный остаток на ситах по массе, %	90-100	40-70	0-10	0

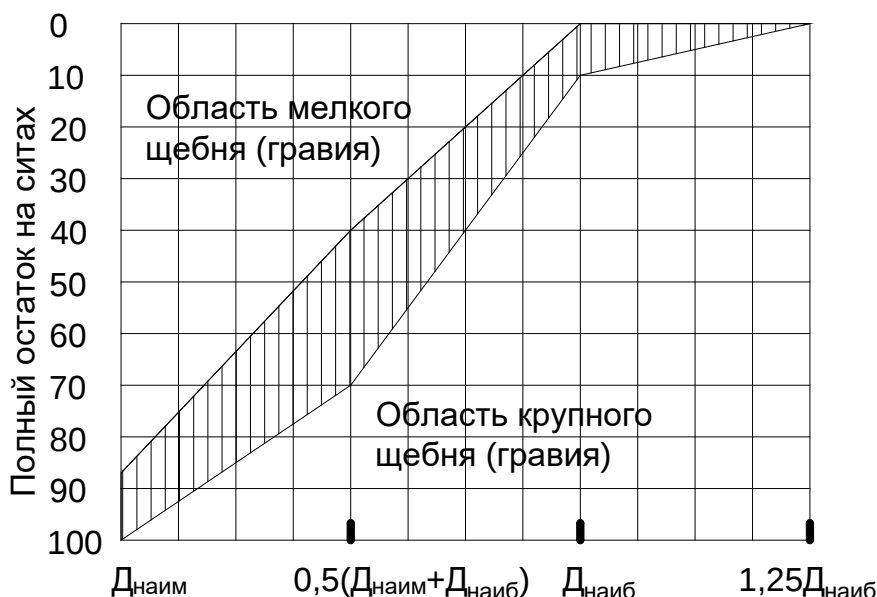


Рис.7. 2. График зернового состава щебня

По результатам испытаний зернового состава крупного заполнителя можно дать оценку его качества на пригодность для изготовления бетона. Крупный заполнитель признают пригодным для приготовления бетона, если кривая его зернового состава располагается в пределах заштрихованной части графика рисунка 7.2.

Заполнители хранят на специально отведенных открытых площадках или на складах, оборудованных эстакадами, подземными галереями, в штабелях отдельно по видам и фракциям. В процессе транспортирования, разгрузки и хранения необходимо следить за тем, чтобы не происходило смешивание заполнителей различных видов, а также загрязнение их посторонними примесями. В зимнее время следует предусматривать мероприятия по рыхлению смерзшихся заполнителей, а также по их оттаиванию и подогреву.

Практическая часть

По исходным данным своего варианта (таблицы 7.8 и 7.9) каждый студент определяет частные и полные остатки заполнителей бетона, строит стандартные графики зернового состава песка и щебня, оценивает качество заполнителя.

Мелкий заполнитель - песок

Частные остатки для песка на каждом сите, вычисляют по формуле 7.1. По известным величинам частных остатков рассчитывают полные остатки по формуле 7.2. Частные и полные остатки вычисляют с точностью до 0,1 %. Масса пробы мелкого заполнителя, отобранной для исследования, равна 1кг.

Результаты вычислений заносят в таблицу 7.5.

Строят стандартный график зернового состава песка по данным таблицы 7.1, выделяя область песков, допускаемых для изготовления бетона. Наносят кривую зернового состава песка, полученную экспериментально, в поле стандартного графика и сравнивают её с графиком рисунка 7.1.

Таблица 7.5

Зерновой состав песка

Остатки	Размер отверстий сит, мм					Прошло через сито 0,14
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Частные остатки, г						
Частные остатки, %						
Полные остатки, %						

Для песка необходимо определить модуль крупности по формуле 7.3 и группу песка по таблице 7.2. По результатам расчётов зернового состава песка дают оценку его качества на пригодность для изготовления бетона.

Крупный заполнитель

По исходным данным своего варианта по остаткам щебня на каждом сите определяют частные и полные остатки с точностью до 0,1 %. Масса пробы крупного заполнителя, отобранной для исследования, равна 10 кг. Результаты вычислений заносят в таблицу 7.6.

Таблица 7. 6

Зерновой состав щебня

Остаток	Размеры отверстий сит, мм					Прошло через сито №5
	70	40	20	10	5	
Частные остатки, г						
Частные остатки, %						
Полные остатки, %						

Вычисляют наибольшую $D_{наиб}$ и наименьшую $D_{наим}$ крупность зерен заполнителям. Результаты заносят в таблицу 7.7.

Строят стандартный график зернового состава крупного заполнителя рисунок 7.2 по данным таблицы 7.4. Для оценки состава крупного заполнителя откладывают на графике 7.4 точки по результатам таблицы 7.7, которые соединяют ломаной линией. Кривую зернового состава щебня, полученную экспериментально, сравнивают с графиком рисунка 7.2

Таблица 7.7

Анализ зернового состава крупного заполнителя

Размер контрольных сит, мм	Наименьший размер зерен, $D_{наим}$	$0,5(D_{наиб} + D_{наим})$	$D_{наиб}$	$1,25 \cdot D_{наиб}$
Полный остаток на ситах по массе, %				

По результатам анализа зернового состава крупного заполнителя дают оценку его качества. Если тяжёлый заполнитель не пригоден, необходимо предусмотреть мероприятия по улучшению качества зернового состава заполнителя.

Таблица 7.8

Зерновой состав песка

Варианты	Остатки	Размер отверстий сит, мм					Прошло через сито 0,14
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
1	Частные остатки, г	227,8	121,1	235,3	239,3	124,1	52,4
2	Частные остатки, г	67,2	142,8	267,4	335,0	140,5	47,1
3	Частные остатки, г	129,9	127,5	456,9	218,6	66,3	0,8
4	Частные остатки, г	37,0	144,8	385,0	153,4	248,5	31,3
5	Частные остатки, г	110,8	123,3	193,6	261,3	300,2	10,8
6	Частные остатки, г	108,4	209,5	461,0	151,5	69,2	0,4
7	Частные остатки, г	99,1	255,6	251,2	172,1	165,8	56,2
8	Частные остатки, г	14,1	245,6	346,1	152,0	234,1	8,1
9	Частные остатки, г	156,1	120,6	361,8	297,2	59,5	4,8
10	Частные остатки, г	48,3	362,5	244,7	233,1	94,7	16,7
11	Частные остатки, г	102,8	213,0	289,2	300,4	94,1	0,5
12	Частные остатки, г	67,3	172,8	312,4	315,2	130,0	2,3
13	Частные остатки, г	100,0	200,3	215,4	242,3	239,2	2,8
14	Частные остатки, г	32,4	186,1	361,7	285,2	132,8	1,2
15	Частные остатки, г	225,6	158,4	231,8	169,3	200,7	14,2

16	Частные остатки, г	75,9	169,0	300,3	263,2	185,9	5,7
17	Частные остатки, г	51,2	115,3	244,6	347,7	237,6	3,6
18	Частные остатки, г	112,4	214,6	345,7	173,2	152,0	2,1
19	Частные остатки, г	106,2	128,9	284,0	235,1	240,0	5,8
20	Частные остатки, г	23,8	85,3	159,5	405,8	317,3	8,3
21	Частные остатки, г	15,4	184,7	216,6	308,0	271,2	4,1
22	Частные остатки, г	262,3	215,5	196,3	152,6	172,4	0,9
23	Частные остатки, г	10,2	104,6	231,6	349,2	302,1	2,3
24	Частные остатки, г	105,1	158,3	168,4	298,0	270,0	0,2
25	Частные остатки, г	125,9	230,6	280,2	245,3	102,7	15,3
26	Частные остатки, г	67,4	180,2	210,3	305,9	230,4	5,8
27	Частные остатки, г	35,8	215,2	200,1	313,4	225,3	10,2
28	Частные остатки, г	129,6	280,3	185,6	242,4	158,6	3,5
29	Частные остатки, г	15,2	130,8	243,6	247,6	342,3	20,5
30	Частные остатки, г	45,3	100,8	248,9	307,9	287,5	9,6
31	Частные остатки, г	154,2	215,1	220,7	255,5	153,0	1,5
32	Частные остатки, г	110,7	229,6	185,6	252,9	200,0	21,2

Таблица 7.9

Зерновой состав щебня

Варианты	Остатки	Размер отверстий сит, мм					Прошло через сито 5
		70	40	20	10	5	
1	Частные остатки, кг	0	0,7	2,9	4,5	1,8	0,1
2	Частные остатки, кг	0	2,1	3,0	2,7	1,9	0,3
3	Частные остатки, кг	0	1,4	2,9	3,7	1,9	0,1
4	Частные остатки, кг	1,0	1,3	3,1	2,4	2,1	0,1
5	Частные остатки, кг	0	2,0	3,5	3,1	1,2	0,2
6	Частные остатки, кг	0	1,5	2,3	3,3	2,8	0,1
7	Частные остатки, кг	0	1,9	2,8	3,0	2,2	0,1
8	Частные остатки, кг	0,7	1,4	1,9	2,7	3,1	0,2
9	Частные остатки, кг	0	2,3	3,1	3,0	1,5	0,1
10	Частные остатки, кг	0	1,2	2,6	4,2	1,9	0,1
11	Частные остатки, кг	0,9	1,8	1,9	3,6	1,3	0,5
12	Частные остатки, кг	0	1,6	2,2	2,8	3,2	0,2
13	Частные остатки, кг	0	2,5	2,1	3,0	2,3	0,1
14	Частные остатки, кг	0,5	1,7	3,0	2,1	2,6	0,1

15	Частные остатки, кг	0	2,4	1,8	3,6	2,0	0,2
16	Частные остатки, кг	0	1,8	2,7	2,1	3,3	0,1
17	Частные остатки, кг	1,0	1,2	2,3	2,8	2,6	0,1
18	Частные остатки, кг	0	1,6	3,0	2,7	2,4	0,3
19	Частные остатки, кг	0	1,9	2,5	3,7	1,8	0,1
20	Частные остатки, кг	0,8	2,3	2,1	2,5	2,1	0,2
21	Частные остатки, кг	0	2,2	3,2	1,9	2,6	0,1
22	Частные остатки, кг	0,6	1,6	1,8	3,3	2,5	0,2
23	Частные остатки, кг	1,1	2,0	1,9	2,6	2,2	0,2
24	Частные остатки, кг	0,7	1,5	3,3	2,4	2,0	0,1
25	Частные остатки, г	0,9	1,6	2,2	2,3	2,7	0,3
26	Частные остатки, г	0,4	1,2	2,3	3,9	1,4	0,8
27	Частные остатки, г	0,8	2,2	2,1	2,4	2,3	0,2
28	Частные остатки, г	0,6	1,3	1,6	2,4	3,6	0,5
29	Частные остатки, г	0,2	1,8	2,6	2,6	2,3	0,5
30	Частные остатки, г	1,2	2,2	3,4	1,8	0,8	0,6
31	Частные остатки, г	0	1,0	2,0	2,7	2,8	1,5
32	Частные остатки, г	0	0,5	2,9	3,0	2,4	1,2

Практическая работа № 8

ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА

Цель работы: изучение материалов рекомендуемых для бетона, расчёт ориентировочного состава бетонной смеси.

Термины и определения

Бетон - это искусственный камневидный материал, который получают в результате формования и твердения рационально подобранной и уплотнённой бетонной смеси: вяжущего вещества, воды и заполнителей.

Вяжущее вещество и вода являются активными составляющими бетона; в результате реакции между ними получается цементный камень, скрепляющий зерна заполнителей. При выборе вяжущего вещества для бетона учитывают требования, предъявляемые к бетону: прочность, морозостойкость, химическая стойкость. Для изготовления бетона следует применять портландцементы, соответствующие требованиям ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия», ГОСТ 22266-2013 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия» и ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия»

Марки цемента принимают в зависимости от класса бетона по табл. 8.1 согласно типовым нормы расхода цемента для приготовления бетонов сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделий и конструкций [38].

Таблица 8.1

Назначение марки цемента в зависимости от класса бетона

Проектный класс бетона	Марки цемента для тяжелого бетона при твердении в условиях					
	естественных		тепловой обработки при отпускной прочности бетона			
			70% проектной и менее		80-100% проектной	
	рекомендуемые	допустимые	рекомендуемые	допустимые	рекомендуемые	допустимые
B7,5	300	-	300	-	-	-
B10	300	400	300	400	400	300, 500
B15	400	300, 500	400	300, 500	400	500
B20	400	300, 500	400	300, 500	400	500
B25	400	500	400	500	500	400
B27,5	400	500	400	500	500	400
B30	500	550, 600	500	550, 600	550	500. 600
B35	550	500, 600	550	500. 600	600	500, 550

B40	600	550, 600	600	550, 500	600	550
B45	600	550	600	550	-	-

Применение цемента пониженных марок увеличивает его расход. Применение цемента повышенных марок не всегда приводит к его экономии. При применении цемента высокой активности для бетонов низких классов следует вводить минеральные добавки тонкомолотых шлаков, золы ТЭС, активных минеральных добавок естественного происхождения. С повышением содержания цемента в бетоне его прочность растет до определенного предела. Затем она растет незначительно, но развиваются усадочные деформации и снижается трещиностойкость, увеличивается ползучесть. Поэтому не рекомендуется вводить на 1 м³ бетона более 600 кг цемента.

Расход цемента в бетоне будет рациональным, если соблюдается соотношение между марками цемента и прочностью бетона (табл.8.2).

Таблица 8.2

Соотношение между маркой цемента и его прочностью

Марка бетона	M100	M150	M200	M300	M400	M500	M600
(класс бетона)	(B7,5)	(B10)	(B15)	(B25)	(B30)	(B40)	(B50)
Марка цемента	300	300	400	400	500	550-600	600

При пониженном содержании цемента наблюдается расслоение бетонной смеси и снижение плотности бетона.

Заполнители для бетона выбирают по зерновому составу, прочности, морозостойкости, плотности, содержанию пылевидных и глинистых частиц.

В качестве мелкого заполнителя для тяжелого бетона применяют природный и искусственный песок, *истинная плотность* которого должна быть от 2000 до 2800 кг/м³, а содержание пылевидных и глинистых частиц не более 3% по массе.

В качестве крупного заполнителя используют щебень или гравий из плотных горных пород. *Средняя плотность* крупного заполнителя должна быть от 2000 до 3000 кг/м³, содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне не более 2% по массе. Обычный щебень для бетонов не должен содержать зерен пластинчатой и игольчатой формы более 35 % по массе, улучшенный – не более 25%, а кубовидный - не более 15 %.

Пустотность крупного заполнителя зависит от размеров и формы зёрен и составляет для щебня и гравия 35 – 50 %

При проектировании бетона необходимо, чтобы прочность заполнителя составляла не менее 1,5 предела прочности бетона для марок 300 и ниже, а для высокомарочных бетонов превышала прочность в 2 раза. Для гравия эта величина составляет 1,2-1,5 раз.

Вода для затворения бетонной смеси должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

Водородный показатель pH воды должен быть не менее 4 и не более 12,5. Допускается не более 10 мг/л органических поверхностно-активных веществ, сахаров, фенолов. Во всех случаях допускается к применению не любая вода, а лишь отвечающая техническим условиям. Качество воды оценивают по содержанию вредных примесей, которые могут препятствовать нормальному схватыванию и твердению вяжущего вещества либо вызывают появление в структуре бетона новообразований, снижающих прочность и долговечность бетона.

Для затворения бетонной смеси и поливки твердеющего бетона можно без предварительной проверки применять питьевую воду, а также речную, озерную или воду из искусственных водоемов, не загрязненную сточными выбросами, солями и маслами с допустимым содержанием примесей.

Водоцементное отношение - это отношение массы воды к массе цемента в свежееизготовленной бетонной смеси, причем учитывают только свободную, не поглощенную заполнителями воду.

Для улучшения свойств бетонной смеси, затвердевшего бетона, ускорения твердения бетона, замедления или ускорения сроков схватывания вводятся химические добавки, применение которых регламентируется.

Подбор состава бетона

Различают номинальный лабораторный состав бетона, рассчитанный для сухих материалов, и производственно-полевой — для материалов в естественно-влажном состоянии. Лабораторный состав бетона определяют расчетно-экспериментальным методом, для чего вначале рассчитывают ориентировочный состав бетона, а затем уточняют его по результатам пробных замесов и испытаний контрольных образцов.

Расчет ориентировочного состава бетона. Расчет состава бетона выполняют в такой последовательности:

1. Определяют водоцементное отношение B/C — отношение массы воды к массе цемента из условий получения требуемого класса бетона в зависимости от активности цемента и качества материалов по формулам:

$$\frac{B}{C} = \frac{A_1 \times R_u}{R_b + A_1 \times 0,5 R_u} \quad \text{при } B/C \geq 0,4 \quad (8.1)$$

$$\frac{B}{C} = \frac{A_2 \times R_u}{R_b + A_2 \times 0,5 R_u} \quad \text{при } B/C < 0,4 \quad (8.2)$$

где A_1 и A_2 — коэффициенты, учитывающие качество материалов, которые принимаются по табл. 8.3;

R_u — активность цемента, МПа;

R_b — предел прочности бетона на сжатие, МПа.

К *высококачественным материалам* относят: портландцемент высокой активности с минимально допустимым количеством гидравлической добавки,

щебень из плотных пород, песок плотный крупный и средней крупности. Заполнители должны быть не загрязненными, оптимального зернового состава.

К *рядовым материалам* относят: портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент, заполнители среднего качества, в том числе гравий.

К *материалам пониженного качества* относят цементы низкой активности, непрочные крупные заполнители, мелкие пески.

Таблица 8. 3

Значения коэффициентов, учитывающих качество материалов

Характеристика материалов для бетона	A_1	A_2
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

2. Определяют расход воды V , кг/м^3 , в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси, вида и крупности заполнителя ориентировочно по табл. 8.4 или на основании предварительных испытаний.

Таблица 8.4

Водопотребность бетонной смеси

Подвижность ОК, см	Расход воды, кг/м^3							
	гравий, мм				щебень, мм			
	10	20	40	70	10	20	40	70
2-4	190	175	160	155	200	190	175	170
5-7	200	185	170	165	210	200	185	180
8-10	205	190	175	170	215	205	190	185
10-12	215	205	190	180	225	215	200	190
12-16	220	210	197	185	230	220	207	195
16-20	227	218	203	192	237	228	213	202

Примечание: значения водопотребности приведены для бетонной смеси на портландцементе с нормальной густотой цементного теста (НГЦТ) 26-28% и песке с $M_{кр} = 2$. На каждый процент повышения нормальной густоты цементного теста расход воды увеличивается на $3-5 \text{ кг/м}^3$, при уменьшении — уменьшается на $3-5 \text{ кг/м}^3$. Увеличение модуля крупности песка на каждые 0,5 вызывает необходимость уменьшения расхода воды на $3-5 \text{ кг/м}^3$, уменьшение — повышение расхода воды на $3-5 \text{ кг/м}^3$.

3. Определяют расход цемента C , кг/м^3 , по известному V/C и водопотребности бетонной смеси:

$$Ц = B \div B/Ц, \quad (8.3)$$

где B — расход воды, кг/м³;

$B/Ц$ - отношение массы воды к массе цемента.

Нормы расхода цемента не должны превышать типовые по табл. 8.5, 8.6, 8.7 (в зависимости от отпускной прочности проектной марки бетона в условиях тепловой обработки) по прочности морозостойкости и водонепроницаемости, табл.8.8. Для неармированных сборных изделий минимальная норма расхода цемента должна быть не менее 200 кг/м³, для железобетонных изделий — не менее 220 кг/м³ [38].

Допускается снижение минимальной нормы расхода цемента для бетонных изделий до 150 кг/м³ и для железобетонных — до 180 кг/м³ при добавлении в бетон золы ТЭС до 200 или 220 кг/м³. Если расход цемента превышает типовые нормы, тогда следует проводить мероприятия по экономии цемента.

Таблица 8.5

Бетон с отпускной прочностью 70 % проектной марки
в условиях тепловой обработки

Проектная марка бетона	Удобоукладываемость бетонкой смеси: осадка конуса, см	Расход цемента, кг/м ³ , марки				
		300	400	500	550	600
М 100	5-9	240	-	-	-	-
	1-4	220	-	-	-	-
М 150	5-9	280	250	-	-	-
	1-4	255	225	-	-	-
М 200	5-9	325	285	250	-	-
	1-4	300	260	230	-	-
М 250	5-9	370	325	285	-	-
	1-4	340	300	265	-	-
М 300	5-9	-	365	325	-	-
	1-4	-	335	300	-	-
М 350	5-9	-	410	365	-	-
	1-4	-	375	335	-	-
М 400	5-9	-	-	405	390	365
	1-4	-	-	365	350	330
М 450	5-9	-	-	440	420	405
	1-4	-	-	400	385	365
М 500	5-9	-	-	495	470	445
	1-4	-	-	450	425	400
М 600	5-9	-	-	-	600	555
	1-4	-	-	-	540	495

Таблица 8.6

Бетон с отпускной прочностью 80-85 % проектной марки
в условиях тепловой обработки

Проектная марка бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси: осадка конуса, см	Расход цемента, кг/м ³ , марки				
		300	400	500	550	600
М 150	5-9	320	275	245	-	-
	1-4	290	250	220	-	-
М 200	5-9	-	315	280	-	-
	1-4	-	290	260	-	-
М 250	5-9	-	360	325	-	-
	1-4	-	335	295	-	-
М 300	5-9	-	410	360	-	-
	1-4	-	375	335	-	-
М 350	5-9	-	465	410	-	-
	1-4	-	420	370	-	-
М 400	5-9	-	-	450	415	390
	1-4	-	-	410	380	355
М 450	5-9	-	-	510	470	435
	1-4	-	-	455	420	390
М 500	5-9	-	-	-	525	480
	1-4	-	-	525	470	430
М 600	5-9	-	-	-	-	600
	1-4	-	-	-	-	550

Таблица 8.7

Бетон с отпускной прочностью 100 % проектной марки
в условиях тепловой обработки

Проектная марка бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси: осадка конуса, см	Расход цемента, кг/м ³ , марки				
		300	400	500	550	600
1	2	3	4	5	6	7
М 150	5-9	330	290	265	-	-
	1-4	305	275	245	-	-
М 200	5-9	-	345	310	-	-
	1-4	-	320	285	-	-
М 250	5-9	-	405	360	-	-
	1-4	-	370	330	-	-
М 300	5-9	-	465	410	-	-
	1-4	-	420	370	-	-
М 350	5-9	-	540	465	-	-

Проектная марка бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси: осадка конуса, см	Расход цемента, кг/м ³ , марки				
		300	400	500	550	600
	1-4	-	495	425	-	-

Продолжение таблицы 8.7

1	2	3	4	5	6	7
М 400	5-9	-	-	540	465	430
	1-4	-	-	485	420	390
М 450	5-9	-	-	-	535	500
	1-4	-	-	570	485	450
М 500	5-9	-	-	-	600	580
	1-4	-	-	-	565	525

Таблица 8.8

Нормы расхода цемента для бетонов изделий, к которым предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости

Удобоукладываемость бетонной смеси осадка конуса, см	Расход цемента кг/м ³ , для бетонов марок					
	по морозостойкости			по водонепроницаемости		
	Мрз 100-150	Мрз 200	Мрз 300 и более	В4	В6	В8 и более
5-9	320	400	440	340	420	475
1-4	300	375	410	320	400	450

Следует уточнить расход цемента по крупности применяемого заполнителя. Нормами, приведенными в таблицах, предусмотрено применение заполнителей с наибольшей крупностью 20 мм. При применении заполнителей с другой крупностью зерен следует применять коэффициенты, указанные в табл.8.9.

Таблица 8.9

Коэффициент, уточняющий расход цемента, в зависимости от крупности заполнителя

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Коэффициент для бетонов проектных марок	
	до М 350 включительно	М 400 и выше
10	1,1	1,07
20	1	1
40	0,93	0,95
70	0,9	0,92

4. Определяют расход крупного заполнителя щебня или гравия

Выбор крупного заполнителя определяется экономической целесообразностью. Для высокопрочных бетонов лучше применять щебень. Щебень и гравий должны быть стойкими к воздействию окружающей среды. Предназначены для применения в качестве заполнителей для бетонов, должны обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента. Стойкость щебня и гравия определяют по минералого-петрографическому составу исходной горной породы и содержанию вредных компонентов и примесей.

Для приготовления бетонов желательно использовать гравий оптимального зернового состава. Куски, близкие по форме к кубу или тетраэдру, лучше для применения, чем куски плоской и игольчатой формы, т.к. они легко ломаются. Наличие в щебне значительного количества игловатых и пластинчатых зерен отрицательно сказывается на качестве бетона, т.к. такие зерна ухудшают удобоукладываемость бетонной смеси и, обладая низкой прочностью на изгиб, снижают прочность бетона.

Расход крупного заполнителя щебня или гравия $\Pi(\Gamma)$ в килограммах на кубический метр кг/м^3 определяют по формуле:

$$\Pi = 1 / \left(\frac{\alpha \times V_{\text{пуст}}}{\rho_{\text{нщ}}} + \frac{1}{\rho_{\text{ищ}}} \right), \quad (8.4)$$

где $V_{\text{пуст}}$ — пустотность щебня (гравия) в рыхлонасыпанном состоянии, подставляется в формулу в виде коэффициента, определяемого по формуле (8.5);

$\rho_{\text{нщ}}$ — насыпная плотность щебня, кг/м^3 ;

$\rho_{\text{ищ}}$ — истинная плотность щебня, кг/м^3 ;

α — коэффициент раздвижки зерен щебня, который принимается по табл. 10.

Пустотность щебня (гравия) определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности щебня (гравия).

Пустотность щебня (гравия) определяется по формуле:

$$V_{\text{пуст}} = 1 - \frac{\rho_{\text{нщ}}}{\rho_{\text{ищ}}}, \quad (8.5)$$

где $\rho_{\text{ищ}}$ — средняя плотность щебня, кг/м^3 .

Коэффициент раздвижки зерен α определяется по табл. 8.10.

Таблица 8.10

Коэффициенты раздвижки зерен α для пластичных бетонных смесей на песке с $V_{п} = 7\%$

Расход цемента, кг/м ³	Водоцементное отношение В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	—	1,30	1,36	1,42	—
350	—	1,32	1,38	1,44	—	—
400	1,31	1,40	1,46	—	—	—
500	1,44	1,52	1,56	—	—	—
600	1,52	1,56	—	—	—	—

Примечания.

1) При других значениях В/Ц коэффициент α находят интерполяцией.

2) При применении крупного песка с $V_{п} < 7\%$ коэффициент α увеличивается на 0,03 на каждый процент увеличения $V_{п}$. При использовании мелкого песка с $V_{п} > 7\%$ коэффициент α уменьшают на 0,03 на каждый процент увеличения $V_{п}$.

3) Для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м³ коэффициент α принимают 1,05 - 1,15, в среднем 1,1.

5. Определяют расход песка P , кг/м³, по формуле:

$$P = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{иц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{Щ}{\rho_{ищ}} \right) \right] \times \rho_{ип}, \quad (8.6)$$

где Ц, В, Щ — расход цемента, воды, щебня в килограммах на 1 м³ бетонной смеси;

$\rho_{иц}$, $\rho_{в}$, $\rho_{ищ}$, $\rho_{ип}$ — истинная плотность материалов, кг/м³.

Зная расход материалов (Ц - цемента, В - воды, Щ – щебня, П – песка) и объём замеса $\rho_{б.см.}$, можно определить среднюю плотность бетонной смеси в килограммах на кубический метр по формуле:

$$\rho_{б.см.} = \frac{Ц_з + В_з + П_з + Щ_з}{V_{б.см}}, \quad (8.7)$$

где $Ц_з$, $В_з$, $П_з$, $Щ_з$ — расход цемента, воды, песка, щебня на замес, кг

$V_{б.см}$ — объём бетонной смеси, м³.

Чаще всего для проектирования состава бетонной смеси применяют уравнение абсолютных объёмов. Расход цемента принимают за единицу, тогда состав бетона выражают:

$$\frac{Ц}{Ц} \div \frac{П}{Ц} \div \frac{Щ}{Ц} \text{ при } \frac{В}{Ц} = 0,4 - 0,7$$

Пример: состав бетонной смеси 1:2:4, первое число выражает объёмную часть минерального неорганического вяжущего вещества - цемента, второе — объёмную часть мелкого заполнителя – песка, третье — объёмную часть крупного заполнителя – щебня или гравия.

Практическая часть

По исходным данным своего варианта (таблица 8.11) каждый студент рассчитывает ориентировочный состав бетона для сухих материалов и расход материалов на замес бетономешалки с заданной вместимостью барабана.

Пример выполнения задания

Прочитав содержание задания, выделяем ключевое слово *бетон*.

Дадим определения выделенному слову.

Бетон - это искусственный камневидный материал, который получают в результате формования и твердения рационально подобранной и уплотнённой бетонной смеси: вяжущего вещества, воды и заполнителей.

Водоцементное отношение - это отношение массы воды к массе цемента в свежееизготовленной бетонной смеси, причем учитывают только свободную, не поглощенную заполнителями воду.

Задача: подобрать состав бетона, если

марка бетонной смеси по удобоукладываемости П1 - осадка конуса ОК = 3 см;

класс бетона по прочности — В25 ($R_b = 25:0,778 = 32$ МПа),

марка по морозостойкости — F150,

марка по водонепроницаемости — W4.

Отпускная прочность — 70% от предела прочности в возрасте 28 сут:

$$R_b \text{ отп} = 32 \times 0,7 = 22,4 \text{ МПа.}$$

Материалы: портландцемент среднеалюминатный активностью $R_{ц} = 38,5$ МП

с нормальной густотой цементного теста НГЦТ — 26%,

крупный заполнитель — гранитный щебень с содержанием фракций 20-40 мм — 55%; мелкий заполнитель — кварцевый песок средней крупности $M_k = 2,1$;

насыпная плотность сухих материалов: $\rho_{нц} = 1200 \text{ кг/м}^3$,

$$\rho_{нп} = 1400 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{нщ} = 1500 \text{ кг/м}^3;$$

истинная плотность материалов: $\rho_{иц} = 3100 \text{ кг/м}^3$;

$$\rho_{ип} = 2500 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{ищ} = 2550 \text{ кг/м}^3,$$

средняя плотность щебня $\rho_{щ} = 2500 \text{ кг/м}^3$

Выполняем расчет ориентировочного состава бетона.

Дано: ОК = 3 см, В25 $R_b = 32$ МПа, F150, W4, $R_{ц} = 38,5$ МПа

$$\rho_{нц} = 1200 \text{ кг/м}^3, \rho_{нп} = 1400 \text{ кг/м}^3; \rho_{нщ} = 1500 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{иц} = 3100 \text{ кг/м}^3; \rho_{ип} = 2500 \text{ кг/м}^3; \rho_{ищ} = 2550 \text{ кг/м}^3, \rho_{щ} = 2500 \text{ кг/м}^3$$

Решение

1. Определяем водоцементное отношение В/Ц

По показателю удобоукладываемости П1 (осадка конуса ОК = 3 см) бетонная смесь является подвижной, поэтому определяем В/Ц по прочности на сжатие по формуле (1), при $V/C \geq 0,4$. Показатель А1 = 0,6 выбираем по таблице 3, учитывая качество заполнителей (см. исходные данные):

$$\frac{B}{C} = \frac{0,6 \times 38,5}{32,0 + 0,6 \times 0,5 \times 38,5} = 0,53$$

2. Ориентировочно определяем расход воды по табл. 4, учитывая осадку конуса и максимальный размер и массовую долю щебня, $B = 175$ кг.

3. Определяем расход цемента в кг/м^3 по формуле (3) и уточняем в зависимости от отпускной прочности проектной марки по таблицам 5,6,7:

$$C = \frac{175}{0,53} = 330 \text{ кг/м}^3$$

Уточняем расход цемента.

По табл. 8.5 для бетона класса В25 (М300) с отпускной прочностью 70% проектной марки в условиях тепловой обработки при ОК бетонной смеси 3 см, приготовленного на портландцементе М400,

расход его не должен превышать 335 кг/м^3 .

С учетом поправки на применение щебня с $d = 40$ мм табл.8.9

расход не должен превышать $335 \times 0,93 = 312$ кг.

Согласно табл. 8 для бетона марки по морозостойкости F150

расход цемента не должен превышать 300 кг/м^3 ,

по водонепроницаемости W4 — 320 кг.

Примем расход цемента $C = 315 \text{ кг/м}^3$.

4. Определяем расход щебня Ш в кг/м^3 .

Коэффициент раздвижки зёрен α выбираем по табл.8.10. С учётом интерполяции

$$\alpha = 1,35$$

Определяем пустотность щебня по формуле 8.5.

$$V_{\text{пуст}} = 1 - \frac{1500}{2500} = 0,4$$

Определяем расход щебня по формуле 4

$$Ш = \frac{1}{\left(\frac{1,35 \times 0,4}{1500} + \frac{1}{2550}\right)} = 1329,6 \approx 1330, \quad \text{кг/м}^3$$

5. Определяем расход песка П в кг/м^3 по формуле 8.6:

$$П = \left[1 - \left(\frac{315}{3100} + \frac{175}{1000} + \frac{1330}{2550}\right)\right] \times 2500 = 504,5 \approx 505 \text{ кг/м}^3,$$

Ориентировочный состав бетона кг/м^3 :

$$C = 315 \text{ кг}$$

$$П = 505 \text{ кг}$$

$$Ш = 1330 \text{ кг}$$

$$B = 175 \text{ кг}$$

$$\Sigma 2325 \text{ кг}$$

Расход материалов на пробный замес, если его объём $V_з = 12 \text{ л} = 0,012 \text{ м}^3$

$$C = 315 \times 0,012 = 3,78 \approx 4 \text{ кг}$$

$$\begin{aligned} \Pi &= 505 * 0,012 = 6,06 \approx 6 \text{ кг} \\ \text{Щ} &= 1330 * 0,012 = 15,96 \approx 16 \text{ кг} \\ \text{В} &= 175 * 0,012 = 2,10 \approx 2 \text{ кг} \\ &\underline{\hspace{10em}} \\ &\Sigma 27,9 \text{ кг} \end{aligned}$$

Средняя плотность бетонной смеси

$$\rho_{\text{б.см.}} = \frac{3,78+2,1+6,06+15,96}{0,012} = 2325 \text{ кг/м}^3,$$

Состав бетонной смеси можно выразить в виде соотношения

$$\frac{\text{Ц}}{\text{Ц}} \div \frac{\text{П}}{\text{Ц}} \div \frac{\text{Щ}}{\text{Ц}} = \frac{315}{315} \div \frac{505}{315} \div \frac{1330}{315} = 1: 1,6: 4,2 \text{ при } \frac{\text{В}}{\text{Ц}} = \frac{175}{315} = 0,55$$

Определить расход материалов на замес бетономешалки, если вместимость барабана $0,25 \text{ м}^3$.

$$\begin{aligned} \text{Ц} &= 315 * 0,25 = 78,75 \approx 79 \text{ кг} \\ \text{П} &= 78,75 * 1,6 = 126 \text{ кг} \\ \text{Щ} &= 78,75 * 4,2 = 330,75 \approx 331 \text{ кг} \\ \text{В} &= 78,75 * 0,55 = 43,31 \approx 43 \text{ кг} \end{aligned}$$

Ответ: для изготовления одного кубического метра бетона В 25 необходимо взять: цемента Ц = 315 кг, песка П = 505 кг, щебня Щ = 1330 кг, воды В = 175 кг.

Для выполнения замеса в бетономешалке вместимостью барабана $0,25 \text{ м}^3$: цемента Ц = 79 кг, песка П = 126 кг, щебня Щ = 331 кг, воды В = 43 кг.

Таблица 8.11

Варианты заданий к практической работе «Подбор состава бетона»

Вариант	Осадка конуса ОК, см	В (класс бетона по прочности)	Морозостойкость F	Водопроницаемость W	Активная прочность цемента R _ц , МПа	Крупный заполнитель	Крупный заполнитель			Песок		Цемент		Отпускная прочность бетона, %	Объем бетономешалки, л
							Плотность насыпная кг/м ³	Плотность истинная, кг/м ³	Плотность средняя, кг/м ³	Плотность насыпная кг/м ³	Плотность истинная, кг/м ³	Плотность насыпная, кг/м ³	Плотность истинная, кг/м ³		
1	4	B35	150	6	33,0	Щ 40	1420	2850	2600	1600	2650	1500	3100	70%	65
2	5	B20	120	4	28,5	Г 20	1000	2600	2500	1500	2650	1200	3100	85%	120
3	3	B27,5	140	6	28,5	Щ 70	1315	2650	2500	1600	2600	1200	3100	100%	170
4	6	B15	130	2	24,5	Щ 10	1350	2750	2550	1550	2500	1100	3100	70%	100
5	2	B25	180	8	28,5	Щ 40	1420	2700	2500	1400	2600	1200	3100	80%	130
6	4	B27,5	100	8	28,5	Щ 40	1420	2650	2520	1550	2600	1400	3100	70%	200
7	6	B10	100	6	24,5	Г 10	1200	2600	2500	1400	2600	1100	3000	85%	150
8	8	B7,5	100	4	20,0	Щ 10	1380	2700	2580	1400	2600	1100	3100	70%	63
9	7	B15	120	6	24,5	Щ 40	1420	2750	2600	1500	2650	1200	3000	80%	180
10	3	B30	200	8	28,5	Г 40	1350	2600	2750	1500	2600	1500	3100	85%	230
11	2	B40	200	6	33,0	Щ 70	1500	2850	2750	1600	2600	1200	3100	70%	440
12	8	B10	150	4	24,5	Щ 10	1200	2700	2550	1700	2500	1200	3000	100%	120
13	5	B7,5	100	4	20,0	Г 10	1250	2600	2500	1600	2600	1100	3000	70%	500
14	3	B45	200	8	33,0	Щ 40	1500	2750	2500	1550	2600	1500	3100	80%	230
15	7	B15	120	6	24,5	Г 20	1000	2600	2550	1500	2650	1150	3000	70%	170
16	8	B10	110	6	24,5	Щ 20	1420	2700	2600	1400	2600	1200	3000	85%	250
17	6	B20	130	8	28,5	Щ 20	1500	2700	2550	1550	2600	1100	3100	70%	200
18	2	B35	150	6	33,0	Щ 40	1500	2750	2700	1530	2650	1400	3100	80%	320
19	9	B7,5	100	4	20,0	Щ 10	1200	2600	2550	1420	2500	1150	3000	70%	65
20	8	B10	120	6	24,5	Щ 20	1370	2600	2560	1450	2600	1100	3000	100%	160
21	4	B25	100	2	28,5	Щ 40	1500	2750	2500	1400	2500	1200	3100	80%	230

Продолжение таблицы 8.11

Вариант	Осадка конуса ОК, см	В (класс бетона по прочности)	Морозостойкость F	Водопроницаемость W	Активная прочность цемента R _ц , МПа	Крупный заполнитель	Крупный заполнитель			Песок		Цемент		Отпускная прочность бетона, %	Объём бетономешалки, л
							Плотность насыпная, кг/м ³	Плотность истинная, кг/м ³	Плотность средняя, кг/м ³	Плотность насыпная, кг/м ³	Плотность истинная, кг/м ³	Плотность насыпная, кг/м ³	Плотность истинная, кг/м ³		
23	3	B30	100	6	28,5	Щ 40	1500	2700	2590	1600	2600	1200	3100	85%	150
24	2	B27,5	150	2	28,5	Г 10	1100	2600	2550	1620	2600	1300	3100	100%	500
25	5	B10	160	2	24,5	Щ 20	1500	2650	2550	1500	2600	1100	3000	70%	180
26	4	B35	100	6	28,5	Щ 40	1500	2750	2600	1700	2650	1200	3100	70%	200
27	2	B20	140	4	28,5	Г 40	1350	2600	2300	1500	2600	1150	3100	80%	230
28	6	B15	110	2	24,5	Г 20	1200	2600	2250	1600	2500	1200	3000	85%	170
29	9	B7,5	100	2	20,0	Щ 20	1380	2850	2550	1600	2500	1200	3000	80%	500
30	1	B40	150	4	33,0	Щ 70	1315	2900	2630	1650	2600	1500	3100	70%	440
31	4	B22,5	200	8	20,0	Щ 40	1350	2600	2750	1500	2600	1500	3100	80%	170
32	6	B30	160	6	24,5	Г 40	1350	2600	2750	1500	2600	1500	3100	70%	230

Практическая работа № 9

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Цель работы: определить среднюю плотность серии бетона и оценить её качество по прочности.

Термины и определения

Определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях.

Серия контрольных образцов – несколько образцов, изготовленных из одной пробы бетонной смеси, твердеющих в одинаковых условиях и испытанных в одном возрасте для определения фактической прочности.

Фактическая прочность бетона – среднее значение прочности бетона, рассчитанное по результатам её определения в партиях бетонной смеси, изделий или монолитных конструкций.

Фактический класс бетона по прочности – оценочное значение класса бетона по прочности, рассчитанное по результатам определения фактической прочности бетона и её однородности [40].

Нормируемая прочность бетона – прочность бетона в проектном возрасте, установленная в нормативном или техническом документе.

Испытывалась серия из четырёх образцов кубической формы, с размером грани 100 мм.

Перед испытанием образцы подвергаются визуальному осмотру и определяется их плотность.

Плотность единичного образца в кг/м³ определяют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V} \times 1000, \quad (9.1)$$

где m – масса образца, г;

V – объём образца, см³.

Масса образца определяется взвешиванием. Объём образца правильной формы вычисляют по его геометрическим размерам.

Плотность бетона серии образцов вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытания всех образцов серии. Но так как при определении прочности бетона один образец серии отбраковывается, то его не учитывают при определении средней плотности. Среднюю плотность серии образцов можно вычислить только после определения прочности.

Прочность бетона на сжатие R , МПа вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$R = \alpha \times \frac{F}{A}, \quad (9.2)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм²;

α – масштабный коэффициент.

Для образцов кубической формы с размером грани 100 мм $\alpha = 0,95$

Фактическую прочность бетона R_m в серии из четырёх образцов определяют как среднеарифметическое значение по трём образцам с наибольшей прочностью.

Фактический класс бетона по прочности B_f определяется по формуле

$$B_f = 0,8 \times R_m \quad (9.3)$$

Партия бетона подлежит приёмке по прочности, если фактическая прочность бетона R_m не ниже требуемой прочности R_T , а минимальное единичное значение прочности $R_i^{\min}$ – не менее величины $(R_T - 4)$. А так же фактический класс бетона по прочности B_f не ниже проектного класса бетона по прочности $B_{\text{норм}}$.

Партия бетона подлежит приёмке, если соблюдаются следующие условия:

$$R_m \geq R_T \quad (9.4)$$

$$R_i^{\min} \geq (R_T - 4) \quad (9.5)$$

$$B_f \geq B_{\text{норм}} \quad (9.6)$$

Требуемая прочность бетона R_T определяется по формуле

$$R_T = K_T \times B_{\text{норм}} \quad (9.7)$$

где $B_{\text{норм}}$ – проектный класс прочности бетона, МПа;

K_T – коэффициент требуемой прочности $K_T = 1,28$ для применяемой схемы оценки прочности.

Согласно ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжёлые мелкозернистые» [41] По прочности на сжатие бетоны подразделяют на следующие классы: B3.5; B5; B7.5; B10; B12.5; B15; B20; B22.5; B25; B27.5; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60; B70; B80; B90; B100; B110; B120.

Практическая часть

Сделать конспект теоретической части. По исходным данным своего варианта (таблица 9.1) каждый студент рассчитывает: плотность единичного образца, прочность на сжатие единичного образца, фактическую прочность бетона на сжатие, среднюю плотность бетона, фактический класс бетона по прочности. По итогам расчётов необходимо дать оценку бетона требованиям приёмки. Сделать вывод по работе.

Таблица 9.1

Варианты заданий к практической работе «оценка прочности бетона»

Номер варианта	Номер образца	Размеры образца, см			Масса образца, г	Разрушающая нагрузка, Н	В _{норм}
		a	b	h			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	10,2	10,1	9,4	2039,5	117100	B12,5
	2	10,2	10,1	9,5	2055,8	162400	
	3	10,1	10,1	9,5	2060,9	188400	
	4	10,3	10,0	9,4	2100,7	168700	
2	1	10,0	10,0	9,8	1998,0	360437	B30
	2	10,0	10,0	9,7	1953,1	326630	
	3	10,1	9,9	10,0	1965,3	314413	
	4	10,1	10,0	9,9	1945,2	295613	
3	1	9,5	9,9	10,2	2010,1	151087	B15
	2	10,2	9,9	10,2	2173,7	196000	
	3	10,1	9,9	9,6	2076,9	183750	
	4	10,1	9,7	10,3	2197,0	314413	
4	1	10,1	10,1	9,9	2241,3	461413	B30
	2	10,2	9,8	9,9	2129,6	277663	
	3	10,0	10,1	10,3	2233,3	371587	
	4	10,0	9,9	10,1	2176,1	412413	
5	1	9,7	10,1	10,2	2291,3	404250	B25
	2	10,2	9,9	10,2	2378,3	387913	
	3	9,7	10,2	10,3	2280,6	343000	
	4	10,2	10,0	10,4	2279,7	351163	
6	1	10,0	9,8	10,2	2072,2	191913	B15
	2	10,0	9,8	10,1	2065,0	220500	
	3	10,3	9,8	9,6	2039,3	236837	
	4	10,5	9,9	10,3	2185,0	179663	
7	1	10,0	9,9	10,1	2005,2	461413	B30
	2	10,1	9,9	10,3	2159,6	326663	
	3	10,0	10,2	10,0	2215,4	469587	
	4	10,1	10,2	10,3	2345,3	228663	
8	1	10,3	10,0	10,0	2254,5	502250	B35
	2	10,4	9,6	10,0	2157,1	449163	
	3	10,0	10,0	10,1	2259,1	428750	
	4	10,0	9,9	10,1	2269,8	498163	
9	1	9,9	9,7	10,1	2153,8	338913	B30
	2	9,8	10,1	10,0	2254,9	485913	
	3	10,1	9,8	10,2	2228,8	459375	
	4	10,0	10,0	10,0	2164,8	412413	

Продолжение таблицы 9.1

1	2	3	4	5	6	7	8
10	1	10,1	10,0	10,0	1991,9	245000	B15
	2	10,1	10,1	10,1	2020,8	232750	
	3	10,0	10,1	10,1	2016,9	208250	
	4	10,2	10,2	10,0	2064,8	220500	
11	1	10,0	9,8	10,2	2155,0	396087	B25
	2	9,9	10,0	10,0	2123,4	347087	
	3	10,4	10,1	10,0	2221,1	371587	
	4	9,9	9,9	9,9	2103,8	306250	
12	1	10,0	10,3	10,1	2249,2	416500	B30
	2	10,1	9,9	10,1	2180,3	273587	
	3	10,2	9,9	10,0	2180,8	355250	
	4	10,1	10,2	10,0	2229,6	436913	
13	1	10,0	10,0	10,0	1833,9	29800	B25
	2	10,0	10,1	10,0	2086,4	346226	
	3	10,0	9,8	10,1	2149,3	404250	
	4	10,0	10,1	10,1	2176,5	355250	
14	1	10,0	10,0	10,1	2276,0	281750	B20
	2	10,4	10,4	10,1	2324,6	343000	
	3	10,0	10,0	10,3	2312,6	257250	
	4	10,0	9,8	10,1	2200,1	285837	
15	1	10,3	10,0	10,2	2085,6	224587	B15
	2	10,0	9,6	10,1	1992,3	208250	
	3	10,1	9,7	10,0	1988,7	216413	
	4	10,0	9,6	10,3	2018,2	200087	
16	1	10,1	9,4	10,0	1958,0	261337	B20
	2	10,1	9,6	10,0	1987,3	249087	
	3	10,2	9,2	10,0	1901,4	269500	
	4	10,4	9,3	10,1	1964,8	208250	
17	1	10,0	9,2	10,1	1947,6	236837	B20
	2	10,1	9,2	10,1	1954,7	240913	
	3	10,1	9,1	10,1	1952,4	298087	
	4	10,2	9,1	9,9	1830,0	212337	
18	1	10,2	9,9	10,0	2069,8	285837	B22,5
	2	10,0	9,9	10,1	2074,0	240913	
	3	10,1	9,5	10,2	2033,1	326663	
	4	10,0	9,3	10,2	1957,6	339188	
19	1	10,1	10,1	10,0	2085,6	224587	B15
	2	10,2	9,9	10,0	1992,3	208250	
	3	10,1	9,9	10,0	1988,7	216413	
	4	10,1	10,0	9,9	2000,5	204315	

Продолжение таблицы 9.1

1	2	3	4	5	6	7	8
20	1	10,0	9,8	10,0	2018,2	200087	B20
	2	10,1	9,7	10,1	1958,0	261337	
	3	10,0	9,9	10,2	1987,3	249087	
	4	10,0	10,0	9,9	1984,6	213391	
21	1	10,4	9,9	10,1	1901,4	269500	B20
	2	10,3	9,9	10,0	1964,8	208250	
	3	10,1	9,9	10,1	1947,6	236837	
	4	10,2	10,1	10,1	1954,7	240913	
22	1	9,6	10,1	10,2	2003,2	286643	B22,5
	2	9,7	10,1	9,9	2044,7	243291	
	3	9,8	10,0	10,0	1993,4	300722	
	4	9,8	10,0	10,2	1985,9	299272	
23	1	9,8	10,0	10,0	2162,0	399478	B30
	2	9,7	10,0	10,0	2085,3	452245	
	3	10,0	10,1	9,9	2155,0	416722	
	4	9,9	10,1	10,0	2037,5	407472	
24	1	10,2	10,1	9,9	2013,0	495544	B40
	2	10,2	10,1	9,9	2229,6	562242	
	3	9,6	10,3	9,9	2018,2	483266	
	4	10,3	10,1	9,7	2180,8	512512	
25	1	9,9	10,2	10,1	1974,8	347262	B22,5
	2	9,9	10,1	9,9	1963,3	364326	
	3	10,3	10,0	10,1	1964,5	302246	
	4	10,1	10,3	9,9	1983,6	310048	
26	1	10,2	10,0	10,1	2045,1	456845	B30
	2	10,2	10,0	9,9	1998,3	489933	
	3	10,3	10,0	10,2	2039,4	439964	
	4	10,4	10,1	10,0	2093,1	467129	
27	1	10,1	10,2	9,6	2012,95	104526	B10
	2	10,0	9,9	9,7	1952,35	101274	
	3	10,0	10,0	9,8	2013,25	127400	
	4	10,1	10,3	9,8	2010,6	104526	
28	1	10,0	10,0	9,8	1998,0	220874	B15
	2	10,0	10,0	9,7	1953,1	265326	
	3	10,0	10,2	10,2	1984,9	243949	
	4	10,3	10,2	10,2	1976,3	248801	
29	1	10,1	10,1	9,9	2192,8	347087	B22,5
	2	9,9	10,1	9,9	2159,9	338913	
	3	10,2	10,3	10,3	2295,7	286062	
	4	10,1	10,1	10,2	2216,5	273802	

30	1	10,1	10,0	10,0	2021,3	144668	B10
	2	10,1	10,0	9,8	1832,5	165337	
	3	10,0	10,1	9,8	1913,2	138445	
	4	10,0	10,0	9,8	1947,9	169560	
31	1	10,0	10,0	9,9	1966,5	296000	B20
	2	10,0	10,0	10,0	1987,5	283751	
	3	10,2	10,0	10,1	2072,7	261337	
	4	10,1	10,0	10,4	2114,3	236837	
32	1	10,2	10,0	9,6	1991,3	441000	B30
	2	10,1	10,0	9,4	1953,2	449163	
	3	10,0	10,0	10,1	2000,5	495863	
	4	9,9	10,1	10,0	2012,3	484477	

Пример выполнения задания по оценке прочности бетона

Дано

Номер варианта	Номер образца	Размеры образца, см			Масса образца, г	Разрушающая нагрузка, Н	В _{норм}
		a	b	h			
1	1	10,1	10,2	9,6	2013,0	512177	B40
	2	10,0	9,9	9,7	1952,4	496243	
	3	10,0	10,0	9,8	2013,3	624260	
	4	10,1	10,3	9,8	2010,6	512177	

Теоретическая часть

Серия контрольных образцов – несколько образцов, изготовленных из одной пробы бетонной смеси, твердеющих в одинаковых условиях и испытанных в одном возрасте для определения фактической прочности.

Фактическая прочность бетона R_m – среднее значение прочности бетона, рассчитанное по результатам её определения в партиях бетонной смеси, изделий или монолитных конструкций.

Фактический класс бетона по прочности B_f – оценочное значение класса бетона по прочности, рассчитанное по результатам определения фактической прочности бетона и её однородности.

Нормируемая прочность бетона $B_{норм}$ – прочность бетона в проектном возрасте, установленная в нормативном или техническом документе.

Решение

1. По исходным данным геометрических размеров вычисляем объём образца кубической формы в см^3 .

$$V_1 = 10,1 * 10,2 * 9,6 = 989,0 \text{ см}^3$$

$$V_2 = 10,0 * 9,9 * 9,7 = 960,3 \text{ см}^3$$

$$V_3 = 10,0 * 10,0 * 9,8 = 980,0 \text{ см}^3$$

$$V_4 = 10,1 * 10,3 * 9,8 = 1019,5 \text{ см}^3$$

2. Плотность единичного образца в кг/м³ определяют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V} \times 1000,$$

$$\rho_1 = \frac{2013,0}{989,0} \times 1000 = 2035,4 \text{ кг/см}^3$$

$$\rho_2 = \frac{1952,4}{960,3} \times 1000 = 2033,1 \text{ кг/см}^3$$

$$\rho_3 = \frac{2013,3}{980,0} \times 1000 = 2054,4 \text{ кг/см}^3$$

$$\rho_4 = \frac{2010,6}{1019,5} \times 1000 = 1972,1 \text{ кг/см}^3$$

3. Вычисляем прочность бетона на сжатие R для каждого образца в МПа с точностью до 0,1 по формуле

$$R = 0,95 \times \frac{F}{A}$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм²;

Вычисляем площадь рабочего сечения образца в мм².

$$A_1 = a_1 * b_1 = 101 * 102 = 10302 \text{ мм}^2$$

$$A_2 = a_2 * b_2 = 100 * 99 = 9900 \text{ мм}^2$$

$$A_3 = a_3 * b_3 = 100 * 100 = 10000 \text{ мм}^2$$

$$A_4 = a_4 * b_4 = 101 * 103 = 10403 \text{ мм}^2$$

Тогда прочность бетона для каждого образца составит

$$R_1 = 0,95 \times \frac{512177}{10302} = 47,2 \text{ МПа}$$

$$R_2 = 0,95 \times \frac{496243}{9900} = 47,6 \text{ МПа}$$

$$R_3 = 0,95 \times \frac{624260}{10000} = 59,3 \text{ МПа}$$

$$R_4 = 0,95 \times \frac{512177}{10403} = 46,8 \text{ МПа}$$

4. Фактическую прочность бетона R_m в серии из четырёх образцов определяем как среднеарифметическое значение по трём образцам с наибольшей прочностью. Образец №4 выбраковываем.

$$R_m = (47,2 + 47,6 + 59,3) / 3 = 51,4 \text{ МПа}$$

Определяем среднюю плотность серии образцов как среднеарифметическое значение ρ_1, ρ_2, ρ_3 .

$$5. \rho_{\text{ср}} = (2035,4 + 2033,1 + 2054,4) / 3 = 2041 \text{ кг/м}^3$$

6. Определяем фактический класс бетона по прочности B_ф по формуле

$$B_{\text{ф}} = 0,8 \times R_m = 0,8 * 51,4 = 41,1 \text{ МПа}$$

7. Проверяем подлежит ли приёмке партия бетона. Для этого должны

быть выполнены три условия:

1) $R_m \geq R_T$.

Требуемая прочность бетона R_T определяется по формуле

$$R_T = 1,28 \times B_{\text{норм}}$$

$$R_T = 1,28 \times 40 = 51,2 \text{ МПа}$$

$$\text{Условие выполняется } 51,4 \geq 51,2$$

2) $R_i^{\min} \geq (R_T - 4)$

$$(R_T - 4) = 51,2 - 4 = 47,2$$

$$\text{Условие выполняется } 47,2 \geq 47,2$$

3) $B_{\phi} \geq B_{\text{норм}}$

$$\text{Условие выполняется } 41,1 \geq 40$$

Вывод: партия бетона подлежит приёмке, т.к. выполняются все три

$$\text{условия } R_m \geq R_T \rightarrow 51,4 \geq 51,2$$

$$R_i^{\min} \geq (R_T - 4) \rightarrow 47,2 \geq 47,2$$

$$B_{\phi} \geq B_{\text{норм}} \rightarrow 41,1 \geq 40$$

Примечание: если не все условия выполняются или не выполняются, то в выводе необходимо отметить, почему партия не подлежит приёмке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Словарь терминов/ В.А. Оськин, В.Ф. Карпенков, В.В Стрельцов и др.; Под ред. В.А. Оськина. – М.: КолосС, 2007. – 56 с.
2. Ржевская С.В. Материаловедение: учеб.для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. - 456 с.
3. Материаловедение: Практикум/ В.И. Городниченко, Б.Ю. Давиденко, В.А. Исаев и др.; Под ред. С.В. Ржевской. – М.: Логос, 2004. – 272 с.
4. Материаловедение и технология конструкционных материалов для железнодорожной техники: Учебник для вузов ж.-д. трансп. /Н.Н. Воронин, Д.Г. Евсеев, В.В. Засыпкин и др.; Под ред. Н.Н. Воронина. – М.: Маршрут, 2004. – 456 с.
5. Классификация, назначение, маркировка сталей и чугунов: учебно-методическое пособие /Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; Сост.: Ю.Б. Куроедов, В.В.Коноводов, Е.В.Агафонова. – Новосибирск, 2013. – 35 с.
6. ГОСТ Р 54384-2011 (ЕН 10020:2000) Сталь. Определение и классификация по химическому составу и классам качества
7. ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки
8. ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных и специальных сталей. Общие технические условия
9. ГОСТ 1435-99 Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия
10. ГОСТ 1414-75 Прокат из конструкционной стали высокой обрабатываемости резанием
11. ГОСТ 977-88 Отливки стальные. Общие технические условия
12. ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия
13. ГОСТ 5520-2017 Прокат толстолистовой из нелегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия
14. ГОСТ 5632-2014 Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные
15. ГОСТ 801-78 Сталь подшипниковая. Технические условия
16. ГОСТ 19265-73 Прутки и полосы из быстро
17. режущей стали. Технические условия
18. ГОСТ 1412-85 Чугун с пластинчатым графитом. Марки
19. ГОСТ 28394-89 Чугун с вермикулярным графитом для отливок. Марки
20. ГОСТ 7293-85 Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки
21. ГОСТ 7769-82 Чугун легированный для отливок со специальными свойствами. Марки
22. ГОСТ 1585-85 Чугун антифрикционный для отливок. Марки
23. ГОСТ Р 55375-2012 Алюминий первичный и сплавы на его основе

24. ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки
25. ГОСТ 1583-93 Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия
26. ГОСТ 14113-78 Сплавы алюминиевые антифрикционные. Марки
27. ГОСТ 859-2014 Медь. Марки
28. ГОСТ 17711-93 Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки
29. ГОСТ 15527–2004 Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки
30. ГОСТ 613-79 Бронзы оловянные литейные. Марки
31. ГОСТ 493-79 Бронзы безоловянные литейные. Марки
32. ГОСТ 5017-2006 Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением. Марки
33. ГОСТ 18175-78 Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки
34. ГОСТ 492–2006 Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые, обрабатываемые давлением. Марки
35. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний.
36. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
37. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.
38. Справочник по строительным материалам и изделиям В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Д.С. Дубяго. – Изд.4-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 443,[1] с.ил.- (Строительство и дизайн).
39. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
40. ГОСТ 181105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
41. ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия.

Учебное текстовое электронное издание

**Корнеев Сергей Александрович
Кашапова Елена Петровна
Неугомонов Сергей Сергей**

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Практикум

Ответственность за содержание возлагается на авторов
Издается полностью в авторской редакции

1,51 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2022 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра разработки месторождений полезных ископаемых
Библиотечно-информационный комплекс
e-mail: bik@magtu.ru