

Министерство образования и науки Украины
Государственное высшее учебное заведение
«Донецкий национальный технический университет»

А. Н. Рязанов

Материаловедение

(для студентов специальности «Бурение»)

Учебное пособие

Рекомендовано к изданию
учебно-издательским
Советом ДонНТУ
в качестве учебного пособия

2008 г.

Рязанов А. Н. Материаловедение: учеб. пособ. / Донец. нац. техн. ун-т.– Донецк, 2008. – 116 с.

В учебном пособии описываются материалы для приготовления и регулирования свойств промывочных жидкостей и тампонажных растворов. Рассматриваются твердые сплавы и алмазное сырье, используемое для армирования бурового породоразрушающего инструмента. Приводятся сведения о конструкционных, резинотехнических и смазочных материалах; грузовых канатах, которые находят применение при сооружении скважин.

Учебное пособие выполнено в виде конспекта лекций и предназначено для студентов очной и заочной формы обучения по специальности «Бурения».

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ	6
1 Основные понятия и классификация промывочных жидкостей	6
2 Параметры промывочных жидкостей. Порядок их измерения в полевых условиях	7
3 Глины	13
4 Глинопорошки	18
5 Контроль качества глин и глинопорошков	19
6 Транспортирование и хранение глин и глинопорошков	22
7 Требование к качеству воды для приготовления глинистых растворов	22
8 Расчет количества глины и воды при приготовлении раствора	23
9 Сапропель	24
10 Мел	24
ХИМИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ. УТЯЖЕЛИТЕЛИ И НАПОЛНИТЕЛИ	25
1 Общие сведения о химических реагентах для регулирования свойств промывочных жидкостей	25
2 Утяжелители	27
3 Наполнители	30
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ. ТАМПОНАЖНЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	31
1 Основы производства портландцемента	31
2 Минералы портландцемента	34
3 Природа процессов схватывания и твердения	35
4 Классификация тампонажных портландцементов	36
5 Разновидности портландцемента	37
6 Свойства сухого цементного порошка	39
7 Правила поставки портландцемента	40

8 Виды упаковки портландцемента	41
9 Транспортирование портландцемента	41
10 Правила хранения портландцемента	42
ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ	
ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ	44
1 Гипс как тампонажный материал	44
2 Глина как тампонажный материал	44
3 Синтетические смолы и отвердители	45
4 Синтетический латекс	47
5 Битумы	48
6 Жидкости затворения	48
7 Добавки	49
СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ТВЕРДЫХ	
МАТЕРИАЛОВ	51
1 Механические свойства	51
2 Технологические свойства	60
ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ. ТЕРМИЧЕСКАЯ	
ОБРАБОТКА СТАЛИ	62
1 Классификация и маркировка сталей	62
2 Сортовой прокат стали	65
3 Чугун	67
4 Цветные металлы	68
5 Термическая обработка стали	69
6 Химико-термическая обработка деталей	71
ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ И ИХ СВОЙСТВА. ИЗГОТОВЛЕНИЕ	
ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОРОНОК	73
1 Спеченные твердые сплавы	73
2 Наплавочные твердые сплавы	78
3 Технология изготовления твердосплавных коронок	78
АЛМАЗНОЕ СЫРЬЕ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ АЛМАЗНЫХ	
КОРОНОК	83
1 Форма и строение алмазов	83
2 Физико-механические свойства алмазов	84
3 Химические свойства алмазов	84

4 Классификация алмазов по группам	85
5 Предварительная обработка низкосортных алмазов.....	86
6 Технические условия на алмазы, применяемые для армирования буровых коронок	88
7 Синтетические алмазы и сверхтвердые материалы	91
8 Технология изготовления алмазных коронок	92
9 Качество изготовления инструмента и его контроль	96
ГРУЗОВЫЕ КАНАТЫ	99
1 Классификация и конструкция канатов	99
2 Выбор и эксплуатация канатов	102
3 Упаковка канатов	104
РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	105
1 Напорные и всасывающие рукава	105
2 Приводные клиновые ремни	107
3 Прокладочные и набивочные материалы	108
СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	110
1 Свойства смазочных материалов	110
2 Типы смазок	111
3 Хранение и регенерация масел	114
ЛИТЕРАТУРА	116

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

1 Основные понятия и классификация промывочных жидкостей

Промывочная жидкость представляет собой физико-химическую систему, состоящую из одной или нескольких фаз.

Однофазные системы из двух или более веществ, не имеющие между компонентами поверхности раздела, называются **гомогенными**. Системы, состоящие из двух или большего числа фаз, между которыми существуют реальные поверхности раздела, называются **гетерогенными (дисперсными)**. К их числу относится большинство промывочных жидкостей.

Дисперсной фазой системы называется вещество, мелко раздробленное и равномерно распределенное в другом, которое является **дисперсной средой**. Если частицы дисперсной фазы имеют одинаковый размер, то система называется **монодисперсной**, в противном случае – **полидисперсной**.

Степень раздробленности частиц дисперсной фазы характеризуется **дисперсностью** D – величиной, обратной поперечному размеру частицы d :

$$D = \frac{1}{d}.$$

По степени раздробленности системы делятся на **высокодисперсные (коллоидные)**, если величина поперечного размера частиц находится в пределах 10^{-6} - 10^{-4} мм (дисперсность соответственно 10^6 - 10^4 мм⁻¹), и **грубодисперсные**, если размер частиц большой.

Чем выше дисперсность системы, тем больше общая поверхность раздела фаз. В связи с этим, мерой дисперсности системы может также служить **удельная поверхность** $S_{уд}$, под которой понимают отношение общей поверхности S дисперсной фазы к ее объему V :

$$S_{уд} = \frac{S}{V}.$$

Если дисперсная система хорошо смачивается водой, то она называется **гидрофильной**, в противном случае – **гидрофобной**.

По составу жидкой и твердой фаз промывочные жидкости классифицируются следующим образом:

1. Растворы на водной основе – глинистые и естественные растворы (в последних дисперсной фазой являются частицы неглинистых пород).
2. Растворы на нефтяной основе, которые делятся на нефтеэмульсионные и растворы с дизелетопливной основой.
3. Системы с газообразной средой (в качестве дисперсной фазы или

среды используется газ или воздух).

2 Параметры промывочных жидкостей. Порядок их измерения в полевых условиях

К числу основных параметров промывочной жидкости, определяемых непосредственно на скважине, относятся плотность, водоотдача, условная вязкость, содержание песка, стабильность и суточный отстой. Для измерений пользуются приборами серийно выпускаемой переносной лаборатории ЛГР-3.

ЛГР-3 представляет собой деревянный ящик со свободно откидывающейся крышкой, в котором крепятся: ареометр АБР-1, прибор для определения водоотдачи ВМ-6, вискозиметр ВБР-1, металлический отстойник ОМ-2, цилиндр для определения стабильности ЦС-2, цилиндр 1-100 для определения суточного отстоя, термометр, секундомер. Кроме того, лаборатория комплектуется мерной кружкой, масляным бачком, пробиркой, фильтровальной бумагой, бланками с логарифмической сеткой.

Плотность – масса единицы объема промывочной жидкости (г/см^3). С повышением плотности уменьшается механическая скорость бурения, но возрастает устойчивость стенок скважины.

Для измерения применяют прибор АБР-1 (рис. 1), в комплект которого входят собственно ареометр и удлиненный металлический футляр в виде ведерка 9 с крышкой, служащей пробоотборником для раствора. Прибор состоит из мерного стакана 5, доньшка 6, поплавка 7, стержня 8 и съемного калибровочного груза 1. Мерный стакан имеет две полости: одну для пробы замеряемого раствора и вторую – компенсационную. В компенсационной камере помещается металлический балласт 4, необходимый для устойчивости погруженного в воду прибора, и компенсационный груз 3 для тарировки, представляющий собой обычно чугунную

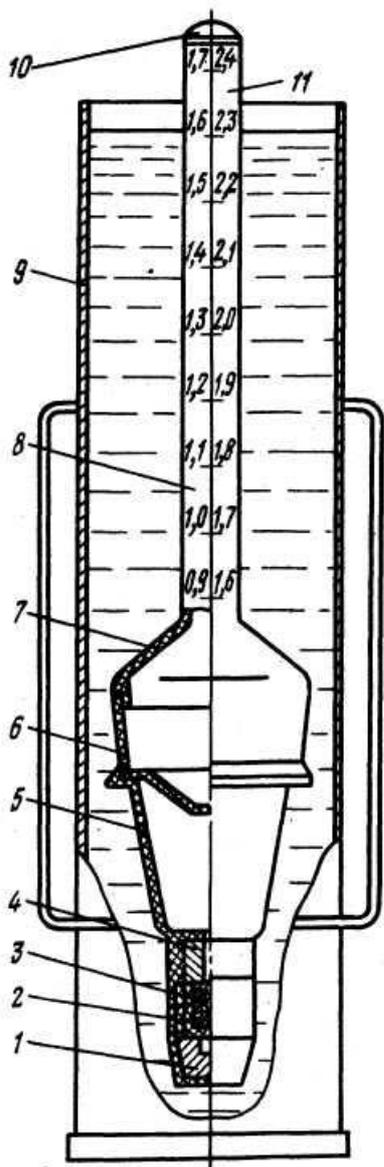


Рисунок 1 – Ареометр АБР-1

дробь.

Компенсационная камера перекрывается полиэтиленовой заглушкой 2, которая крепится к стакану эпоксидным клеем. В верхней части стакана расположены зерновидные прорези для слива излишков раствора. Поплавок перекрывается доньшком, которое, с одной стороны, обеспечивает герметичность поплавковой камеры, а с другой – постоянный объем раствора в мерном стакане.

Стержень представляет собой дюралевую трубку с нанесенными на ней шкалами 11 (одна основная, вторая поправочная, по которой определяют поправку в случае применения минерализованной воды). Трубка закрывается сверху полиэтиленовой пробкой 10 на резьбе. Съёмный груз, обеспечивающий два диапазона измерения, представляет собой стальную арматуру, залитую снаружи полиэтиленовой оболочкой. При соединении съёмного груза с мерным стаканом используется эластичность полиэтилена. При измерении поплавков снимают со стакана, наполняют последний жидкостью, вновь присоединяют поплавок, обмывают снаружи, и ареометр в вертикальном положении опускают в футляр, наполненный чистой пресной водой. Отсчет плотности ведут по

Таблица 1 – Техническая характеристика АБР-1

Пределы измерения, г/см ³ : с калибровочным грузом	0,9-1,7
без калибровочного груза	1,6-2,4
Погрешность измерения, г/см ³	±0,02
Объем пробы раствора, см ³	78,5±1

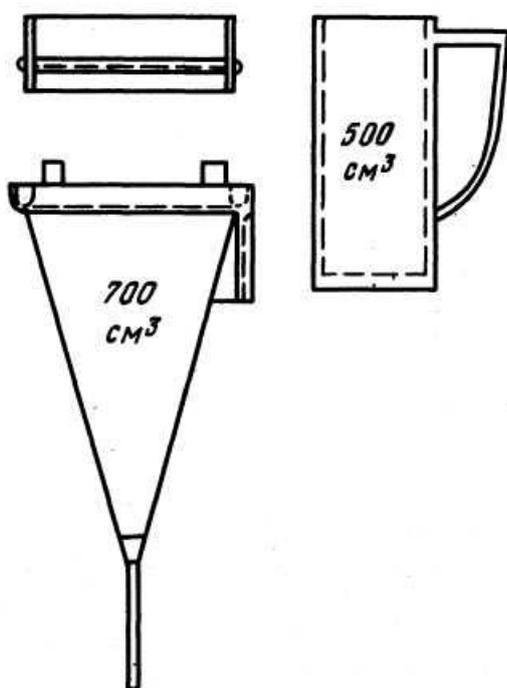
Перед использованием ареометр проверяют. Для этого мерный стакан заполняют водой, залитой в ведро, и измеряют ее плотность, отсчет берут по поправочной шкале. Деление на поправочной шкале, до которого погрузился ареометр, покажет алгебраическую величину поправки, которую следует добавлять к показаниям, полученным при основном измерении.

Условная вязкость – величина, косвенно характеризующая вязкостные свойства раствора. С повышением вязкости качество очистки ухудшается, механическая скорость бурения падает, увеличиваются гидравлические сопротивления.

Для измерения применяют вискозиметр ВБР-1 (рис. 2), который состоит из воронки, герметично соединенной трубки с проходным диаметром 5 мм, сетки и мерной кружки.

Условная вязкость определяется временем истечения 500 см³ раствора через трубку из воронки вискозиметра, заполненной 700 см³ раствора.

Таблица 2 – Техническая характеристика ВБР-1



Постоянная вискозиметра (время истечения 500 см ³ воды) при температуре 20±5°С, с	15
Абсолютная погрешность постоянной вискозиметра, с	±0,5
Объем воронки вискозиметра, см ³	700
Длина трубки, мм	100
Диаметр отверстия трубки, мм	5,0±0,01
Объем мерной кружки, см ³	500

Рисунок 2 – Вискозиметр ВБР-1

Водоотдача – величина, косвенно характеризующая способность бурового раствора отфильтровываться через стенки скважины. Размерность – см³/30 мин. С уменьшением водоотдачи снижается механическая скорость бурения. повышается устойчивость стенок скважины.

Для измерения пользуются прибором ВМ-6 (рис. 3). Он состоит из трех узлов: основания, напорного цилиндра с плунжером и фильтрационного стакана с принадлежностями. Фильтрационный стакан 5 в верхней части имеет горловину с наружной резьбой, нижний конец его также имеет резьбу. Узел напорного цилиндра состоит из собственно цилиндра 3 с ввернутой в него втулкой, плунжера 1 и груза-шкалы 2, укрепленного на плунжере. Шкала нанесена на прозрачной пластмассовой планке и прикреплена к грузу винтами. Сквозь шкалу видна отсчетная риска на верхнем конце втулки цилиндра.

В нижней части цилиндра имеется отверстие, которое служит для спуска масла 11 из цилиндра при установке шкалы на «0» (совмещение нулевой риски шкалы с отсчетной риской втулки цилиндра). Отверстие перекрывается иглой 4. Цилиндр соединяется с фильтрационным стаканом с помощью резьбы. Для уплотнения места соединения предусмотрена прокладка из маслостойкой резины.

Основание 7 представляет собой пластмассовую чашу с резьбой для соединения с фильтрационным стаканом, отверстием под пробку 6 и каналами для сбора фильтрата. На поверхность основания укладывается фильтровальная бумага 9, на которой размещается кольцевая резиновая

прокладка 8, герметизирующая соединение основания и фильтрационного стакана.

Принцип работы прибора ВМ-6 основан на способности жидкости отфильтровываться под давлением из раствора 10 через фильтровальную бумагу 9, на поверхности бумаги при этом формируется фильтрационная корка. За показатель водоотдачи (фильтрации) принимается количество жидкости, отфильтровавшееся через круглый бумажный фильтр за 30 мин при избыточном давлении 0,1 МПа.

Таблица 3 – Техническая характеристика ВМ-6

Предел измерения, см ³	40
Цена деления шкалы прибора, см ³	1,0
Давление фильтрации, МПа	0,1 ± 0,01
Объем пробы раствора, см ³	100

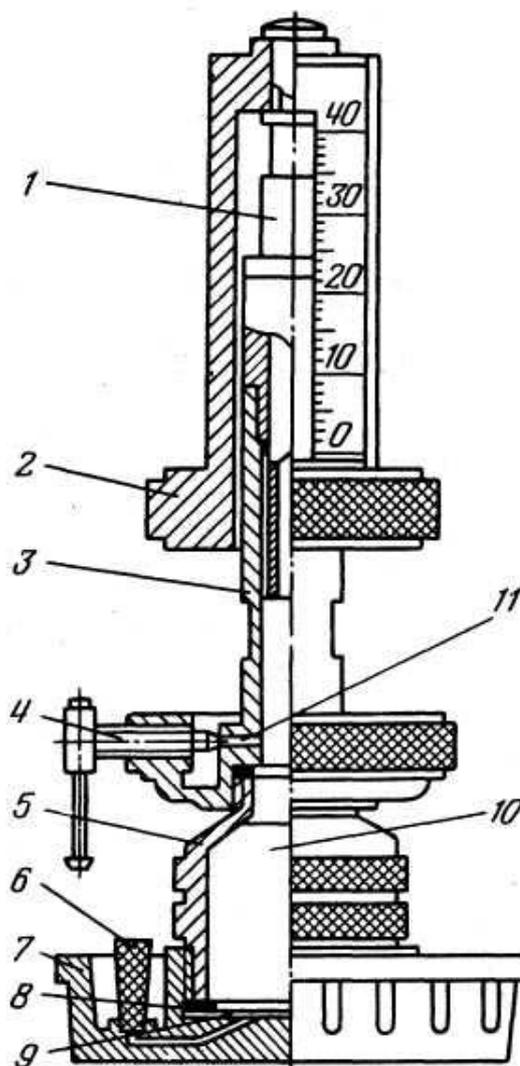


Рисунок 3 – Прибор ВМ-6

Для ускорения определения водоотдачи, а также в случае, если ее величина ожидается более 40 см³, используют бланк с двойной логарифмической сеткой (рис. 4). Зависимость водоотдачи от времени выражается прямой линией. Измерив водоотдачу через более короткие отрезки времени, например 2 и 5 мин, и отложив соответствующие точки на графике, можно провести через них прямую и продолжить ее до пересечения с ординатой, соответствующей 30 мин. Точка пересечения дает водоотдачу за 30 мин. Толщина и качество фильтрационной корки при таком методе определения водоотдачи не показательны.

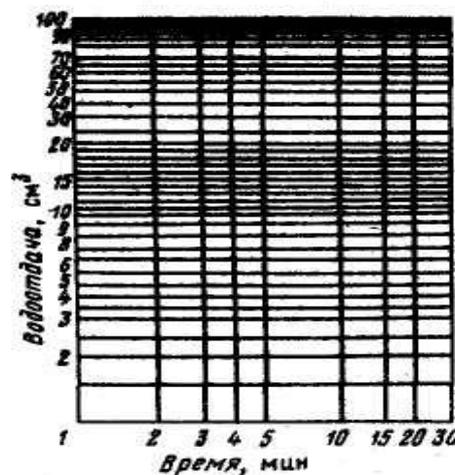


Рисунок 4 – Бланк для ускоренного измерения водоотдачи

Содержание песка – величина, характеризующая степень загрязненности бурового раствора механическими примесями. С ростом содержания песка уменьшается механическая скорость бурения, повышается абразивный износ бурового инструмента, оборудования, возрастают гидравлические сопротивления и вероятность возникновения поглощений.

Содержание песка в растворе определяют с помощью металлического отстойника ОМ-2 (рис. 5), представляющего собой цилиндр 2 со стеклянной измерительной пробиркой 4 в нижней части. На боковой поверхности пробирки нанесена шкала 8 с делениями через $0,1 \text{ см}^3$. Пробирка крепится к нижней части цилиндра 2 с помощью винта 7, перекладки 6 и прокладок 3 и 5. Сверху отстойник закрывается крышкой 1, которая используется как мерный сосуд. В верхней части цилиндра имеется отверстие, регламентирующее вместимость цилиндра.

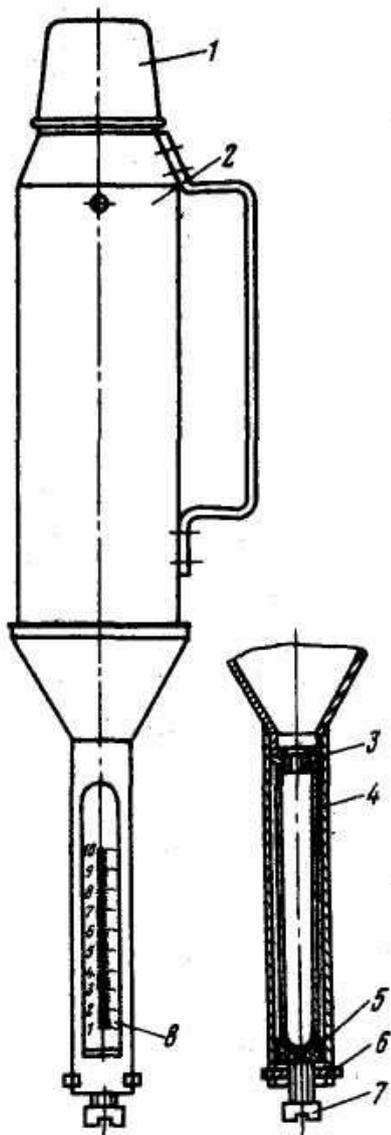


Рисунок 5 – Отстойник ОМ-2

Таблица 4 – Техническая характеристика ОМ-2

Измерение проводят следующим образом. В отстойник заливают сначала $200-300 \text{ см}^3$ во-

Вместимость, см^3 :	
отстойника	600
отстойника до сливного отверстия	500
крышки	50
пробирки	10

ды, затем 50 см^3 испытуемой жидкости из крышки. Воду доливают до тех пор, пока она не начнет выливаться через отверстие. Закрыв крышкой отстойник и прикрывая пальцем боковое отверстие, интенсивно взбалтывают содержимое отстойника. После этого его устанавливают в вертикальное положение и оставляют в покое на 1 мин. За это время из раствора оседают частицы размером более $0,02 \text{ мм}$. По делениям на шкале определяют объем осевших частиц (в см^3) и полученный результат умножают на два; получают содержание песка (в %).

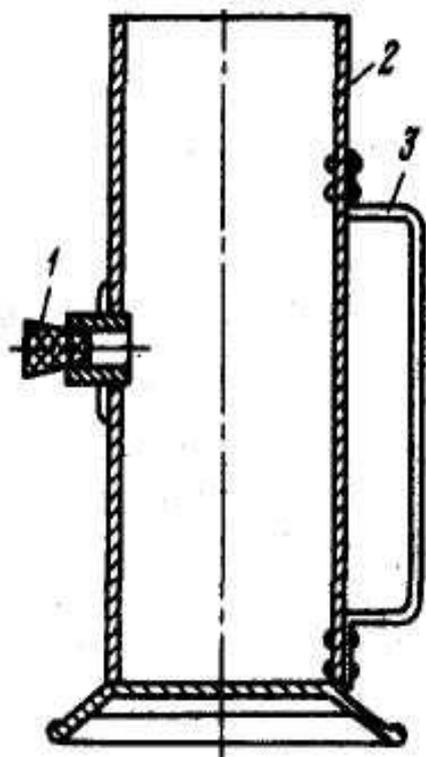


Рисунок 6 – Цилиндр ста-
бильности ЦС-2

Стабильность и суточный отстой – величина, характеризующая физико-химическую устойчивость раствора как дисперсной системы. С ростом устойчивости несколько падает механическая скорость бурения, повышается устойчивость стенок скважины, снижается вероятность прихвата бурового инструмента.

Стабильность раствора определяется с помощью цилиндра ЦС-2 и ареометра АБР-1. Показатель стабильности представляет собой разность плотностей нижней и верхней половин пробы раствора, отстоянной в течение суток в цилиндре.

Цилиндр ЦС-2 (рис. 6) выполнен из листового железа. Посредине корпуса 2 цилиндра имеется отвод с резиновой пробкой 1 для слива верхней половины раствора. Для удобства работы к цилиндру приварена ручка 3.

Таблица 5 – Техническая характеристика цилиндра ЦС-2

Вместимость цилиндра, см ³	720
Высота, мм	200

При измерении отверстие перекрывают резиновой пробкой, цилиндр заливают испытуемым раствором, закрывают стеклом и оставляют в покое в течение 24 ч. По истечении этого срока отверстие открывают и верхнюю половину раствора сливают в отдельную емкость.

С помощью ареометра определяют плотность верхней и нижней частей раствора. Вычтя из плотности нижней части пробы плотность верхней части, получают стабильность (в г/см³).

Суточный отстой измеряют с помощью стеклянного мерного цилиндра вместимостью 100 см³ с ценой деления 1 см³. Испытуемую жидкость наливают в мерный цилиндр до отметки 100 см³, закрывают стеклом и оставляют в покое на 24 ч, после чего визуально определяют величину слоя прозрачной воды, выделившейся в верхней части цилиндра. Отстой выражают в процентах выделившейся жидкости от объема пробы.

3 Глины

Основным материалом для приготовления глинистых растворов являются глины.

Глины – широко распространенные осадочные горные породы, которые образовались в процессе химического выветривания магматических и метаморфических пород.

По химическому составу глины представляют собой водные алюмосиликаты. Общая химическая формула глин:



По минералогическому составу глины относятся к полиминеральным породам, состоящим в основном из глинистых минералов. Наиболее важными и широко распространенными группами этих минералов являются монтмориллонитовая, гидрослюдистая, каолиновая и палыгорскитовая.

Эти группы минералов определяют четыре основных типа глин, применяемых в бурении:

- бентонитовый (монтмориллонитовый),
- гидрослюдистый (иллитовый),
- каолиновый,
- палыгорскитовый.

На практике, как правило, глина содержит несколько глинистых минералов. В этом случае, она получает название по преобладающему минералу (например, каолино-гидрослюдистая).

Каждый тип глин помимо глинистых минералов содержит оксиды железа (FeO , Fe_2O_3), щелочных металлов (Na_2O , K_2O), щелочноземельных металлов (CaO , MgO). Оксиды металлов связаны с глинистыми минералами различно. Часть их может входить в состав этих минералов и замещать оксиды алюминия, часть же связана с глинистым веществом слабее и представляет собой обменные основания.

Один из определяющих признаков глинистых минералов – *отношение $SiO_2:R_2O_3$* (где $R – Al$ или Fe). Это отношение колеблется от двух для минералов каолиновой группы до четырех и более для минералов монтмориллонитовой группы. Чем больше это отношение, тем лучше глины набухают и распускаются в воде.

Кристаллические решетки глинистых минералов состоят из чередующихся, параллельно расположенных слоев *глинозема и гидрата кремнезема*. В свою очередь глинозем представляет собой два плотно упакованных слоя атомов кислорода или гидроокислов, между которыми в октаэдрической сетке расположены атомы алюминия, находящиеся на одинаковом расстоянии от соседних шести атомов кислорода или гидроокислов (рис.7). Атомы алюминия могут замещаться атомами железа или

магния, что приводит к изменению свойств минерала.

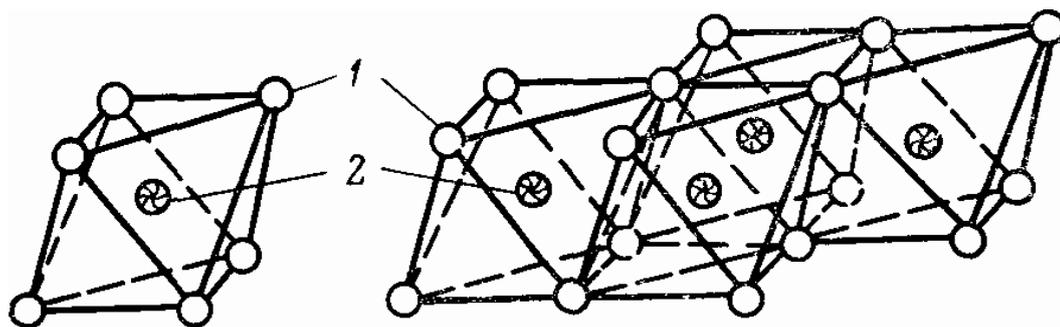


Рисунок 7 – Схематическое изображение октаэдров и октаэдрической сетки структуры глинозема: 1 – гидроксилы; 2 – атомы алюминия

Гидрат кремнезема построен из кремнекислородных тетраэдров, расположенных в форме бесконечно повторяющейся гексагональной сетки (рис.8). В тетраэдре атом кремния удален от четырех атомов кислорода или гидроксильных групп на одинаковое расстояние.

Решетка кристаллов монтмориллонита и гидрослюд – трехслойная, а решетка каолинита состоит из двух слоев. Трехслойные решетки монтмо-

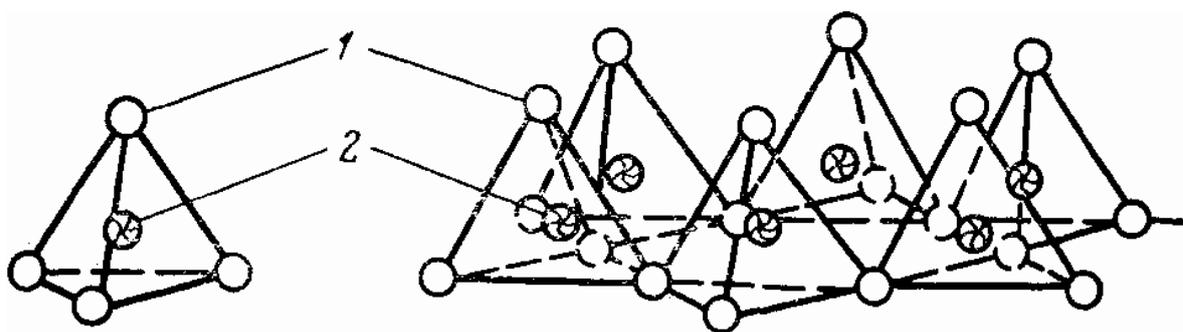


Рисунок 8 – Схематическое изображение кремнекислородного тетраэдра и сетки кремнекислородных тетраэдров, расположенных по гексагональному закону: 1 – атомы кислорода; 2 – атомы кремния

риллонита связываются в пачки прослоем воды, количество которой может увеличиваться и уменьшаться, в связи с чем толщина трехслойной пачки с прослоем воды не остается постоянной. Таким образом, решетка монтмориллонита обладает подвижностью и способностью растягиваться и сжиматься. У гидрослюд часть атомов кремния замещена атомами алюминия, а освобождающаяся валентность используется на присоединение атомов калия, что укрепляет связь с соседними пачками и делает кристаллы более прочными.

Отсутствие одного из двух слоев Si-O у каолина лишает слоистую пачку симметричности и делает ее связь с соседней пачкой сравнительно прочной. В связи с этим диспергация каолиновых глин происходит хуже, чем монтмориллонитовых.

Кристаллы палыгорскита состоят из двойных цепочек (лент) кремнекислородных тетраэдров. Обе ленты соединяются между собой катионами: магнием, алюминием или железом. Палыгорскит имеет жесткую структурную решетку и поэтому может адсорбировать воду, не увеличиваясь в объеме.

Реальные структуры минералов в глинах значительно отличаются от идеальных. Так, атомы кремния и алюминия, входящие в кристаллическую решетку глинистых минералов, могут быть заменены другими атомами, причем не обязательно с одинаковой валентностью. В этом случае частицы глины для компенсации ненасыщенной валентности адсорбируют из окружающей водной среды катионы. В водном растворе эти катионы способны к диссоциации и эквивалентному обратимому обмену с другими катионами, поэтому они называются обменными. Эта способность глин поглощать ионы из окружающей среды и выделять эквивалентное количество других ионов, находящихся в данном минерале в обменном состоянии, называется **обменной емкостью** глин. Она выражается количеством обменных катионов в молях, содержащихся в 1 кг сухой глины.

В глинистых минералах обменными являются Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^+ , H^+ . В природных глинах морского происхождения обменные катионы представлены в основном натрием и калием. Такие глины называются натриевыми. Они обладают повышенными коллоидно-химическими свойствами. В глинах речного происхождения в обменном комплексе преобладают ионы кальция и магния. Тогда глины называются кальциевыми. Они имеют худшие коллоидно-химические свойства.

Независимо от состава обменного комплекса все глины в той или иной степени гидрофильны. Характер гидрофильности зависит от их типа и состава и во многом определяет качество глинистого раствора. При замачивании глины водой молекулы воды окружают поверхность кристаллов глинистых минералов, проникают между кристаллами в пачках и раздвигают их. При этом глина набухает. **Набухание** протекает в два этапа: первый – всасывание воды, второй – развитие набухания. Всасывание представляет собой капиллярный процесс, который для глин среднего качества длится 20-30 с, для весьма гидрофильных глин больше. Процесс набухания зависит от типа глины: у минералов с неподвижной кристаллической решеткой набухание идет в основном за счет проникновения воды в межкристаллическое пространство, у монтмориллонита преимущественное значение имеет, проникновение воды в межпакетные промежутки. Поэтому набухание у малогидрофильных глин, например у каолина, фактически заканчивается через 30-40 с. У бентонитовых глин набухание растягивается на 2-4 недели, причем увеличение объема может быть 20-кратным.

На свойства промывочной жидкости значительно влияют **размер и форма глинистых частиц**. Средний эффективный размер частиц бентонита составляет 0,02-0,1 мкм, а каолина 0,1-1 мкм. Целесообразно использовать глины, содержащие частицы определенного размера в сле-

дующем соотношении: крупнее 0,1 мм – не более 6%, от 0,05 до 0,1 мм – не более 12%, мельче 0,05 мм – остальное. При увеличении в глине количества частиц размером более 0,05-0,1 мм (песчаные частицы), она постепенно теряет характерные свойства, такие как пластичность, вязкость, хорошая раскатываемость.

Чаще всего частицы глин имеют вид плоских или лентовидных чешуйчатых пластинок, реже – продолговатую, игольчатую форму (палыгорскит). Благодаря такой форме и высокой дисперсности частицы имеют большую суммарную поверхность, что положительно сказывается на образовании высококачественной промывочной жидкости.

Физико-химическая характеристика основных типов глин приведена в табл.6.

Таблица 6 – Физико-химическая характеристика глин

Глины	Плотность, г/см ³	Обменная емкость, моль/кг	Эффективная удельная поверхность, м ² /г	SiO ₂ :R ₂ O ₃
Бентонитовые	2,5–2,73	0,8–1,5	450–900	4–7
Гидрослюдистые	2,48–2,7	0,1–0,4	400–500	3–4
Каолиновые	2,47–2,68	0,03–0,15	20–80	2–3
Палыгорскитовые	2,5–2,7	0,2–0,3	800–1000	2,1–2,5

Бентонитовые глины позволяют получать легкие растворы требуемой вязкости с низкой водоотдачей. Под водоотдачей понимают способность раствора отфильтровывать жидкую фазу через глинистую корку, образующуюся на стенках скважины. Однако бентонитовые глины очень чувствительны к влиянию солей, что приводит к значительному их расходу при приготовлении раствора. Стоимость бентонитовых глин сравнительно высокая.

Палыгорскитовые относятся к солестойким и тонкодисперсным глинам, но стоимость их высока и их применяют для улучшения глинистых растворов, приготовленных из обычных глин.

Каолиновые и другие глины образуют в воде обычные суспензии.

Для снижения стоимости буровых работ целесообразно использовать также глины из местных карьеров, предварительно произведя оценку их качества.

В полевых условиях минералогический состав глины может быть определен по *методу Максимовича*, суть которого сводится к следующему.

Образец глины растирают в ступке до порошкообразного состояния и просеивают через сито с диаметром отверстий 0,5 мм. После этого 40-50 г просеянного порошка высыпают в фарфоровую чашку, уплотняют и выравнивают его поверхность до горизонтальной. Набирают пипеткой 1 мл

4% раствора пиррофосфорнокислого натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) и вводят его в центр испытуемого образца каплями по мере впитывания. Засекают время по секундомеру. При этом расстояние нижнего конца пипетки от поверхности образца должно быть не более 2 см. Каждая капля раствора должна попадать в одно и то же место. С помощью измерителя и линейки определяют диаметр d пятна смоченной поверхности (в мм). Находят показатель k по формуле

$$k = t \cdot d,$$

где t – время впитывания 1 мл раствора, мин.

По значению показателя определяют, к какому типу глин относится рассматриваемый образец

k	Тип глины
> 300	Бентонитовая
300-100	Каолино-гидрослюдистая
< 100 (образуется выгнутая поверхность)	Гидрослюдисто-каолиновая
5-100 (образуется вогнутая поверхность)	Каолиновая

В соответствии с ТУ 39-044-74 по основным показателям качества глины подразделяется на 4 сорта.

Таблица 7 – Показатели качества глин

Показатели	Норма при условной вязкости 25 с			
	Сорт			
	1	2	3	4
Выход раствора, $\text{м}^3/\text{т}$, не менее	>10	8-10	6-8	<6
Плотность раствора, $\text{г}/\text{см}^3$, не более	1,06	1,08	1,1	$>1,11$
Содержание песка, %, не более	6	7	7	8

Основным показателем является выход раствора. Под ним понимают количество в м^3 , которое может быть приготовлено из 1 т глинистого сырья.

Глины с выходом раствора менее $3 \text{ м}^3/\text{т}$ имеют низкий процент коллоидных частиц, поэтому не должны применяться для приготовления промывочной жидкости.

4 Глинопорошки

Для приготовления промывочной жидкости глины используются либо в комовом виде, либо в порошковом. Если применяются глины в комовом виде, то размеры комков не должны превышать 150-200 мм. Глинопорошки готовят на специальных заводах механическим или физико-химическим способами.

Механический способ заключается в измельчении исходной глины до заданной тонкости помола по схеме «дробление – сушка – помол». Дробление производится зубчатой дробилкой, помол дисковой, роликово-маятниковой или шариковой мельницей. В этом случае качество порошков определяется главным образом качеством исходного сырья. Поэтому при использовании механического способа глинопорошки готовят из высококачественных бентонитовых глин.

Физико-химические способы получения глинопорошков пока имеют подчиненное значение. Они более трудоемки, но позволяют получать порошки из менее качественных глин. Одна из схем получения глинопорошка выглядит следующим образом: «приготовление суспензии из исходного сырья – выведение из нее неактивной части – удаление жидкой фазы».

Технические требования к глинопорошкам, используемым для бурения, методы контроля, правила их приемки, транспортирования и хранения, а также требования безопасности определяются ТУ 39-043-74. Показатели качества глинопорошков, которые подразделяются на 5 сортов, приведены в табл.8

Таблица 8 – Показатели качества глинопорошков

Показатели	Норма при условной вязкости 25 с				
	Сорт				
	Высший	1	2	3	4
Плотность раствора, г/см ³ , не более	1,043	1,053	1,073	1,1	>1,1
Выход раствора, м ³ /т, не менее	15	12	9	6	<6
Содержание песка, %, не более	6	6	7	7	8
Влажность, %	6-10	6-10	6-10	6-10	6-10
Ситовый анализ суспензии, остаток на сите: с сеткой №05, %, не более	0	0	0	0	0
с сеткой №0071, %, не более	10	10	10	10	10

Для повышения качества глинопорошков их модифицируют путем введения при помолке веществ, улучшающих их свойства: кальцинированной соды, алюминатов, полиакрилатов и др. Для сохранения качества глинопорошки обычно расфасовывают на заводе в плотные бумажные мешки.

Возможны три варианта применения глинопорошков:

1. Как коллоидная добавка к промывочной жидкости, содержащей неглинистую твердую фазу, способствующая хорошему взаимодействию частиц дисперсной фазы с частицами дисперсной среды.

2. Как добавка к глинистому раствору, приготовленному из местных низкокачественных глин, для увеличения в нем коллоидной фракции.

3. Как единственной твердой фазы раствора, если в районе работ нет пригодных глин, а доставка их затруднена (при замене глины с выходом раствора $4\text{ м}^3/\text{т}$ на глинопорошок с выходом раствора $15\text{ м}^3/\text{т}$ проходка на долото увеличивается на 80%, механическая скорость бурения на 45%).

5 Контроль качества глин и глинопорошков

Для контроля качества глин и глинопорошков от каждой партии отбирают среднюю пробу. *Партия* представляет собой продукцию одного сорта и одной отгрузки массой не более 130 т.

Пробы глины массой 3 кг отбирают из каждого вагона не менее чем из пяти мест. Отобранные пробы измельчают до размера кусков 15-20 мм. Среднюю пробу глинопорошка составляют из проб, отобранных по 500 г из: вагона – пять проб не менее чем из пяти мест; пяти контейнеров – одна проба; 300 мешков – одна проба.

Отобранные пробы глинистого сырья тщательно смешивают и квартованием сокращают до 500 г для бентонитов и глинопорошков и 1400 г для других глин. *Среднюю пробу* делят на две равные части, одну из которых подвергают испытаниям, а другую упаковывают, опечатывают и хранят в лаборатории в течение 2 месяцев на случай арбитражного анализа.

Для проведения испытаний среднюю пробу глинистого сырья высушивают под электрической зеркальной инфракрасной лампой накаливания до остаточной влажности 8-10 %. Затем измельчают до величины частиц не более 0,25 мм с остатком на сите № 0071 не более 30 %. После этого из измельченной глины или глинопорошка готовят раствор с условной вязкостью 25 с. Для этого в фарфоровую кружку вместимостью 1500 мл наливают 1000 мл воды, нагретой до кипения, и помещают ее в водяную

баню с той же температурой. При перемешивании на лабораторной мешалке в воду засыпают 100-140 г бентонитового порошка или 200 г и более порошка из других глин, перемешивают 5 мин, затем раствор охлаждают до 20 °С, перемешивают на мешалке в течение 5 мин и определяют его вязкость.

Для определения условной вязкости пользуются вискозиметром ВБР-1.

Если вязкость более 25 с, раствор разбавляют водой. Менее вязкие растворы готовят заново с увеличенной навеской глинопорошка. Замеры повторяют до совпадения двух последовательных результатов. Далее проводят анализ свойств суспензии.

Определение плотности раствора

В лабораторных условиях плотность раствора определяют пикнометром (рис.9). Он представляет собой полулю металлическую или стеклянную колбу с узким горлом, на который нанесена круговая риска. Объем пикнометра до риски – его водное число.



Рисунок 9 – Лабораторный пикнометр

Для этого тщательно перемешанный раствор заливают в стеклянный пикнометр вместимостью 50 мл с капиллярным отверстием в пробке и взвешивают. Предварительно определяют массу пустого пикнометра. Плотность раствора (в г/см³) рассчитывают по формуле:

$$\rho_p = \frac{a - c}{b},$$

где a – масса пикнометра, заполненного раствором, г; c – масса пустого пикнометра, г; b – водное число, см³.

Плотность рассчитывают с точностью до 0,001 г/см³ на основании не менее двух совпадающих определений. Для 2-4 сортов допускается расчет с точностью до 0,01 г/см³.

Определение выхода раствора

Выход раствора в м³/т рассчитывают, исходя из плотности раствора ρ_p

при условной вязкости 25 с

$$B = \frac{0,63}{\rho_p - 1}$$

Расчет производят с точностью до 1,0 м³/т.

Определение содержания песка

В стакан наливают 300 мл воды, нагретой до кипения, прибавляют 10 мл 5% раствора пирофосфата натрия и всыпают при размешивании мешалкой 10±0,01 г глины. Размешивают 15 мин. Полученную суспензию выливают на сито № 0071. Остаток на сите промывают струёй воды и переносят в предварительно взвешенную фарфоровую чашку. В чашке остаток растирают резиновой пробкой и, декантируя, промывают до исчезновения мути. После чего остаток высушивают под инфракрасной лампой до постоянной массы и определяют процентное содержание песка

$$П = \frac{a \cdot 100}{z}$$

где a – масса остатка в чашке, г; z – навеска глины, г (в расчете на абсолютно сухую).

Определение влажности глинопорошков

Навеску глинопорошка (10 г) помещают в сушильный шкаф в стеклянной бюксе; высушивают пробу при 105°±5°С, пока разность между двумя последовательными взвешиваниями станет менее 0,01 г. Первое взвешивание производят через 2 ч, повторные – через каждые 30 мин до получения постоянной массы. Перед взвешиванием пробы охлаждают в эксикаторе с безводным хлористым кальцием. Содержание влаги (в %) определяют по формуле

$$W = \frac{(p - p_1) \cdot 100}{p}$$

где p – масса влажного образца, г; p_1 – масса высушенного образца, г.

Для ускоренного определения влажности 10 г глинопорошка помещают в фарфоровую чашку так, чтобы толщина слоя не превышала 2 мм и нагревают под инфракрасной лампой. Первое взвешивание производят через 4 мин и повторяют подсушивание до получения постоянной массы.

Ситовый анализ суспензии

В фарфоровый стакан вместимостью 400 мл наливают 100 мл воды. При размешивании мешалкой насыпают 10 г (в расчете на сухое веществ-

во) глинопорошка и перемешивают 5 мин. Полученную суспензию высыплют на сито с сеткой № 05, установленное над ситом с сеткой № 0071, и промывают в течение 1 минуты струёй воды из колбы для промывания с резиновым баллоном. После этого сито с сеткой №05 снимают и продолжают промывание сита с сеткой №0071 еще в течение 3 мин. Остатки с обоих сит смывают в фарфоровые чашки, сушат под инфракрасной лампой, взвешивают и рассчитывают в % к первоначальной навеске.

6 Транспортирование и хранение глин и глинопорошков

Глина транспортируется в чистых железнодорожных вагонах или автомашинах. Хранят ее по сортам на очищенных бетонированных площадках в условиях, исключающих попадание влаги и загрязнений.

Глинопорошки, затаренные в четырех-пятислойных крафт-мешках или контейнерах, перевозят в железнодорожных вагонах или автомашинах; а в случае пневматической загрузки и выгрузки – в вагонах-цистернах или автоцементовозах (хоперах). Хранят глинопорошки по сортам в условиях, предотвращающих попадание влаги. При хранении глинопорошков на складах мешки укладывают штабелем вперевязку. Высота штабеля не должна превышать 1,5 м.

Глинопорошки негорючие и не взрывоопасны. При упаковке их в крафт-мешки или контейнеры должна быть обеспечена естественная или принудительная вентиляция рабочего места. Рабочие, занятые на участке модифицирования глинопорошков кальцинированной содой, на упаковочных машинах и погрузочно-разгрузочных работах, должны быть обеспечены спецодеждой, респираторами и противопылевыми очками для защиты органов дыхания и глаз.

7 Требование к качеству воды для приготовления глинистых растворов

Вода, которая используется в качестве дисперсионной среды промывочных жидкостей в бурении, характеризуется общим содержанием растворенных в ней минеральных солей и жесткостью.

По содержанию солей воды подразделяются на пресные (до 0,1%), минерализованные (0,1-5%) и рассолы (более 5%). Пресная вода при прочих равных условиях обеспечивает максимальный выход раствора и лучшее его качество. Если в воде содержится более 5% солей, то обычные глины и бентонит теряют гелеобразующие свойства. В этом случае необ-

ходимо использовать палыгорскит или специальные методы приготовления раствора с обработкой его химическими реагентами.

Жесткость воды различают карбонатную, обусловленную присутствием карбонатов и бикарбонатов Ca^{2+} и Mg^{2+} (устраняется при кипячении воды), и некарбонатную, характеризующуюся содержанием остальных солей этих катионов. По величине жесткости воду делят на мягкую (1,5-3 ммоль/кг), умеренно жесткую (3-5,5 ммоль/кг), жесткую (5,5-9 ммоль/кг) и очень жесткую (более 9 ммоль/кг). Для приготовления качественного глинистого раствора целесообразно использовать воду с жесткостью 3-4 ммоль/кг. При большей жесткости воду необходимо предварительно смягчать.

8 Расчет количества глины и воды при приготовлении раствора

Для получения 1 м³ раствора заданной плотности ρ_P определяется необходимое количество глины и воды.

Требуемый объем глины:

$$V_G = \frac{\rho_P - \rho_B}{\rho_G - \rho_B}, \text{ м}^3,$$

где ρ_B – плотность воды, кг/м³; ρ_G – плотность глины (для расчета можно принимать 2700 кг/м³).

Требуемое количество глины:

$$m_G = V_G \cdot \rho_G, \text{ кг.}$$

Требуемый объем воды:

$$V_B = 1 - V_G, \text{ м}^3.$$

Определяется концентрация глины C_G в растворе

$$C_G = \frac{100 \cdot m_G}{V_P \cdot \rho_P}, \%$$

Определяется количество глины Q_G для увеличения ее концентрации в глинистом растворе

$$Q_G = \rho_P \frac{V_P (C_{GX} - C_G)}{100 - C_{GX}}, \text{ кг,}$$

где C_{GX} – требуемая концентрация глинистого раствора, %; C_G – концентрация исходного глинистого раствора, %; ρ_P – плотность исходного глинистого раствора, кг/м³.

Рассчитывается необходимый объем воды V_0 для введения в глинистый раствор с целью уменьшения его плотности

$$V_0 = V_P \frac{\rho_P - \rho_{PX}}{\rho_{PX} - \rho_B}, \text{ м}^3,$$

где V_P – объем исходного глинистого раствора, м^3 ; ρ_{PX} – плотность требуемого глинистого раствора, $\text{кг}/\text{м}^3$.

9 Сапропель

Сапропель – донные отложения пресноводных озер, представляющие собой сложную по химическому составу многокомпонентную систему биогенного происхождения, в которую входят природные органические и неорганические вещества. Сюда относятся в первую очередь гуминовые комплексы и вульфокислоты, битумы, углеводные и белковые полимеры, полисахариды, высокодисперсные оксиды металлов, карбонатные и алюмосиликатные породы.

Сапропели подразделяются на органические, кремнеземистые, карбонатные и смешанные. Они используются в естественном виде и высушенными. Сапропели применяют в качестве единственной активной твердой фазы промывочной жидкости (сапропелевые растворы), а также как добавки общеулучшающего действия к глинистым растворам и естественным промывочным жидкостям.

По свойствам, прежде всего по структурно-реологическим и фильтрационным, растворы из сапропелей не уступают растворам из глинопоорошков лучших марок. Экологически безвредны.

10 Мел

Мел представляет собой осадочную горную породу органического происхождения, плотностью до $2700 \text{ кг}/\text{м}^3$, белого цвета. Он может иметь примесь песка и глины, применяется в комовом и порошкообразном виде. Для приготовления промывочной жидкости желательно использовать мел с минимальным содержанием песка. Он не набухает, распускается в воде только в процессе перемешивания, причем значительно труднее глины. Частицы мела менее гидрофильны, чем глинистые, по форме округлые. Обменная емкость мела незначительна, вследствие чего он нечувствителен к действию солей.

В качестве сырья для промывочных жидкостей применяется намного реже глины.

ХИМИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ. УТЯЖЕЛИТЕЛИ И НАПОЛНИТЕЛИ

1 Общие сведения о химических реагентах для регулирования свойств промывочных жидкостей

Химические реагенты *применяются* для приготовления и обработки промывочных жидкостей с целью придания им необходимых свойств. Классифицируются по различным признакам, например по химической природе, физико-химическим свойствам (термостойкости, устойчивости к электролитам), по их назначению, особенностям действия и т. д. Для практических целей наиболее приемлемой является классификация реагентов по их назначению.

По назначению химические реагенты можно разделить на две большие группы: общего и специального назначения.

Реагенты общего назначения используются для приготовления базовой промывочной жидкости, регулирования ее структурно-реологических свойств и фильтрации.

Для регулирования водородного показателя рН (менее 7 – среда кислая, более 7 – щелочная) обычно используются вещества, изменяющие повышенную концентрацию водородных ионов в растворе:

- каустическая сода NaOH,
- известь Ca(OH)₂,
- карбонат натрия Na₂CO₃,
- бикарбонат натрия NaHCO₃

Структурообразующие коллоиды – материалы, которые обеспечивают протекание процесса, связанного с созданием пространственной структуры раствора. Это глины (бентонит, палыгорскит), а для растворов на нефтяной основе – органофильные глины и битумы.

Понизители водоотдачи – химические реагенты и материалы, снижающие отделение дисперсионной среды раствора при фильтрации через проницаемые пласты. В качестве понизителей водоотдачи обычно используются:

- бентонит,
- углещелочной реагент УЩР,
- конденсированная сульфит-спиртовая барда КССБ,
- крахмал,
- карбокси-метилцеллюлоза КМЦ,
- гипан,

Разжижители – химические реагенты, снижающие предельную проч-

ность структуры и повышающие подвижность раствора:

- УЩР,
- нитролигнин,
- лигносульфонат кальция,
- КССБ,
- комплексные фосфаты.

Реагенты специального назначения служат для придания промысловой жидкости специальных свойств либо для устранения недостатков и повышения эффективности реагентов общего назначения (устранения пенообразования, ферментативной и термической неустойчивости, агрессивного влияния поливалентных ионов, сероводорода и др.).

Ингибиторы сланцев и глинистых пород – реагенты, предотвращающие гидратацию, набухание и дезинтеграцию глинистых пород:

- известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$,
- хлористый кальций CaCl_2 ,
- гипс CaSO_4 ,
- соль NaCl ,
- хлористый калий KCl ,
- алюмокалиевые квасцы $\text{KA1}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$,
- силикат натрия Na_2SiO_3 .

Термостабилизирующие добавки – химические реагенты, предотвращающие загустевание, повышающие подвижность раствора и улучшающие действие разжижителей при высоких температурах. К их числу относят хроматы и бихроматы натрия или калия Na_2CrO_4 , K_2CrO_4 , $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Смазочные добавки уменьшают коэффициент трения и придают раствору смазочные свойства при высоких давлениях. Они служат для предупреждения прихватов, уменьшения крутящего момента и увеличения мощности, передаваемой на породоразрушающий инструмент:

- нефть,
- графит,
- окисленный петролатум Смад-1,
- гудроны от переработки растительных масел СГ-1.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – материалы, снижающие поверхностное натяжение на границе раздела фаз (жидкость – жидкость, жидкость – газ, жидкость – твердое тело). Их применяют для качественного вскрытия продуктивных пластов:

- сульфонол,
- сульфонатриевые соли

Эмульгаторы служат для образования однородной смеси двух несмешивающихся жидкостей: УЩР, ССБ, КССБ, окзил, крахмал, глинистая

фаза, сульфонол.

Пеногасители предназначены для предупреждения и ликвидации вспенивания, вызываемого некоторыми реагентами, которые используют для химической обработки расворов. Наиболее широко распространены:

- сивушное масло,
- кальциевый мылонафт,
- синтетические жирные спирты,
- окисленный петролатум,
- резиновая или полиэтиленовая крошка в дизельном топливе.

Бактерициды (антисептики) – добавки, служащие для предотвращения разложения реагентов. Обычно для этой цели используются:

- каустическая сода,
- известь,
- соль NaCl,
- формальдегид,
- фенол.

Ингибиторы коррозии – вещества, замедляющие или предотвращающие коррозию бурового инструмента и оборудования:

- известь,
- каустическая сода,
- сульфит натрия Na_2SO_3 ,
- карбонат цинка NaCO_3 ,
- в случае соленасыщенных растворов – хромат натрия Na_2CrO_4 .

Флокулянты – вещества, способствующие флокуляции твердых частиц с последующим выделением их в осадок. В качестве флокулянтов используют частично гидролизированный полиакриламид, сополимеры метакриловой кислоты с метакриламидом (метас) и метилметакрилатом (М-14).

2 Утяжелители

Промывочные жидкости, приготовленные из наиболее распространенных глин, имеют плотность 1,15-1,25 г/см³. В тех случаях, когда необходима жидкость с более высокой плотностью, используют добавки утяжелителей – тонко размолотых порошков инертных тяжелых минералов. В зависимости от плотности утяжелители подразделяются на три группы.

К первой группе относятся материалы низкой плотности (2,6-2,9 г/см³) со сравнительно невысокой гидрофильностью. Это малоколлоидные глины, мергели, мел, известняки, доломиты, так называемые **карбонатные утяжелители**. При их введении в промывочную жидкость получается высокое содержание твердой фазы, что отрицательно сказывается на эффективности бурения и затрудняет регулирование параметров раствора.

На практике с помощью утяжелителей этой группы увеличивают плотность раствора до 1,4-1,5 г/см³ при нормальных остальных параметрах.

Ко второй группе относятся барит и *железистые утяжелители*, такие как гематит и магнетит, плотностью 3,8-5,0 г/см³

Барит BaSO₄ – минерал белого, голубого или красного цвета (в чистом виде белый, остальные цвета получаются в результате влияния примесей), имеет плотность 4,2-4,6 г/см³, невысокую твердость (по шкале Мооса 3-3,5), малую абразивность. Наиболее распространенный и качественный утяжелитель. В бурении применяют преимущественно баритовые концентраты производства обогатительных фабрик цветной металлургии, реже баритовые руды.

В настоящее время выпускается 6 марок баритовых концентратов

Основной показатель	КБ-1	КБ-2	КБ-3	КБ-4	КБ-5	КБ-6
Содержание сернокислого бария, %, не менее	95	92	90	87	85	80

До недавнего времени применялся баритовый концентрат влажностью 10-12 %, иногда подсушенный до 5%. Однако, использование увлажненного утяжелителя приводит к его комкованию и смерзанию в зимних условиях. В связи с этим, было начато производство сухого барита. Его показатели качества регламентируются ТУ 39-126-76.

Сорт баритового утяжелителя	1	2	3
Содержание сернокислого бария, %, не менее	92	87	80
Плотность, г/см ³ , не менее	4,25	4,15	4,05
Содержание воды, %, не более	1,5	1,5	1,5
Содержание водорастворимых солей, %, не более	0,3	0,35	0,35

Качество утяжелителей на основе баритовых концентратов ниже, чем чистого жильного барита или барита, получаемого при обогащении баритовых руд.

Гематит Fe₂O₃ – одна из важнейших железных руд. Цвет от вишнево-красного до стального серого, плотность 5,0-5,3 г/см³, более высокая абразивность, чем у барита, твердость по шкале Мооса – 5,5-6.

Магнетит FeO·Fe₂O₃ представляет собой двойной окисел с содержанием FeO до 31%. Он мало отличается от гематита по плотности и твердо-

сти, но обладает магнитными свойствами. Что создает условия для возникновения прихватов бурильных труб. Причиной является образование плотных слоев из утяжелителя на поверхности бурильных труб и обсадных колонн, уменьшающих площадь сечения скважины.

Железистые утяжелители по сравнению с карбонатными применяются ограничено.

К третьей группе относят ферромарганец, феррофосфор, ферросилиций плотностью 6-7 г/см³ и более. Однако *ферровещества* не получили широкого применения из-за гидролитического разложения железных сплавов, сопровождающегося образованием токсичных и взрывчатых продуктов.

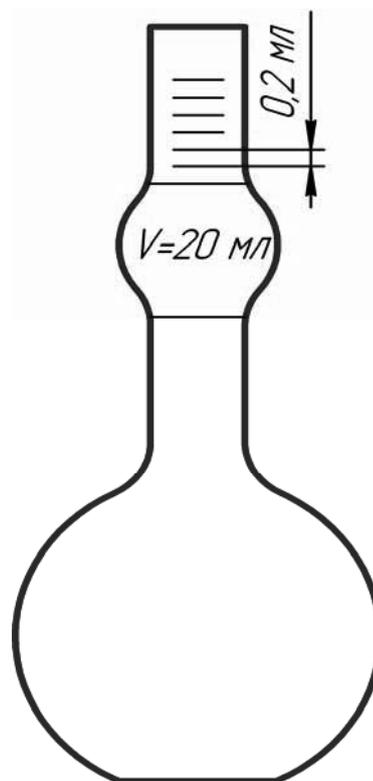


Рисунок 10 – Пикнометр Ле Шателье

Определение плотности утяжелителей

Для определения плотности утяжелителя пользуются пикнометром Ле Шателье (рис.10). В отличие от обычного горло пикнометра Ле Шателье в средней части расширено в виде резервуара объемом 20 см³. Снизу и сверху резервуара имеются метки, верхняя шейка проградуирована через 0,2 см³.

Пикнометр заполняется керосином до нижней метки, помещается в сосуд с водой при температуре 20⁰С, выдерживается 15 минут. Если уровень керосина поднимется выше метки или опустится ниже, то его убирают фильтровальной бумагой или доливают. С точностью до 0,01 г отвешивается 100 г утяжелителя (*m*), предварительно высушенного при температуре 105-110⁰С до постоянного веса. После этого навеска небольшими порциями насыпается в пикнометр. Его проворачивают для выделения воздуха, выдерживают в сосуде с водой до установления уровня керосина и определяют объем *V*, вытесненный утяжелителем. Затем рассчитывают плотность утяжелителя

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3.$$

3 Наполнители

Для закупоривания каналов ухода промывочной жидкости при перебурировании в скважине поглощающих горизонтов в жидкость добавляют вещества наполнители.

В качестве наполнителей используют промышленные отходы. Их делятся на волокнистые, пластинчатые (хлопьевидные) и зернистые (гранулированные). Применяют как индивидуально, так и в различных комбинациях. Наиболее часто применяются опилки, отходы кожевенного производства, слюда, целлофан, текстильные волокна. Часть из них идет без предварительной обработки, некоторые подвергаются дополнительному измельчению. Реже применяют минеральные наполнители: измельченный перлит, вермикулит, гранулированный известняк.

В зависимости от вида закупоривающих материалов добавки их колеблются в широких пределах: меньше добавляют пластинчатых материалов (0,1-1,5%), больше – волокнистых (до 8%), еще больше – минеральных наполнителей (до 10%). Размеры наполнителей изменяются от 1-5 мм для гранулированных, до 3-9 мм для волокнистых веществ.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ. ТАМПОНАЖНЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Тампонажные растворы представляют собой специальные материалы или составы, используемые для тампонирувания – заполнения всей скважины или отдельных ее интервалов.

Тампонажные растворы с течением времени могут затвердевать с образованием тампонажного камня либо загустевать или упрочняться, оставаясь вязкой или вязко-пластичной системой. Химические вещества, обеспечивающие затвердевание тампонажных растворов, называются *базовыми тампонажными материалами*. Вещества, вводимые для регулирования свойств тампонажных материалов или растворов, называются *добавками*. Тампонажные материалы, содержащие добавки, называют *модифицированными*.

Базовые тампонажные материалы делятся на неорганические вещества: вяжущие материалы (цемент, гипс, известь), глины; *и органические вещества*: синтетические смолы, битумы, лигносульфонаты. Эти материалы могут использоваться и в соединении друг с другом.

Тампонажный портландцемент представляет собой разновидность портландцемента – порошкообразного минерального неорганического вяжущего материала, состоящего главным образом из высокоосновных силикатов кальция. Благодаря их особым свойствам, а также свойствам других искусственных минералов, входящих в его состав, порошок портландцемента при смешивании с водой образует легкоподвижную и нерасслаивающуюся в определенном диапазоне концентраций суспензию, которая с течением времени превращается в твердое камневидное тело.

1 Основы производства портландцемента

Минералы портландцемента возникают в результате высокотемпературного обжига сырьевой смеси, содержащей в строго определенном соотношении щелочной окисел – окись кальция (CaO) и кислотные окислы – окись кремния (SiO_2), окись алюминия (Al_2O_3) и окислы железа (обычно Fe_2O_3):

CaO – 60-75 %,

SiO_2 – 17-25 %,

Al_2O_3 – 3-8 %,

Fe_2O_3 – 2-6 %.

Содержание других окислов, являющихся примесями, колеблется в следующих пределах:

MgO – 0,1-5,5 %,

$K_2O+Na_2O - 0,5-1,3 \%$,

$SO_3 - 0,3-1,0 \%$,

$TiO_2 - 0,2-0,5 \%$,

$P_2O_5 - 0,1-0,3 \%$.

Влияние всех окислов из этой группы на процесс производства и свойства тампонажного портландцемента считается вредным (при содержании примесей более 5 % происходит растрескивание цементного камня).

Источником окиси кальция при производстве портландцемента служат, главным образом, известняк и мел. Но наряду с ними могут применяться и другие природные материалы, например гипс, или промышленные отходы, дающие при обжиге окись кальция.

Источником кислотных окислов чаще всего являются глины. В зависимости от присутствующих в них примесей (кварц, карбонаты и пр.) они содержат 40-60% SiO_2 ; 10-20% Al_2O_3 ; 5-7% Fe_2O_3 и 2-15% CaO . Вместо глины могут применяться лёссы, сланцы, суглинки, а также промышленные отходы, из которых главное место занимают гранулированные доменные шлаки. Их состав близок к составу портландцемента, но они содержат меньшее количество CaO (40-50%). Для получения портландцемента в сырьевую смесь на основе шлака достаточно добавить 15-25% CaO , например, в виде известняка. Вместо глинистого компонента может также применяться нефелиновый шлам – отход при производстве глинозема из нефелина, который по своему составу еще ближе к портландцементу, чем доменный шлак, но в нем также недостаточно CaO (50-60%).

Ценным сырьевым материалом для производства портландцемента являются мергели – природные карбонаты кальция, содержащие более 20% глинистых примесей. Некоторые мергели содержат окись кальция и глинистые компоненты как раз в тех соотношениях, которые необходимы для производства портландцемента.

Однако применением сырьевой смеси, состоящей только из двух компонентов – известкового и глинистого, часто не удается получить высококачественный портландцемент. Чтобы получить портландцемент с необходимыми свойствами, в сырьевую смесь вводят так называемые *корректирующие добавки*. В их составах преобладает какой-либо один кислотный окисел – SiO_2 , Al_2O_3 или Fe_2O_3 . Вводя корректирующую добавку, можно увеличивать содержание одного окисла, не изменяя содержание других, тогда как, меняя соотношение между известняком и глиной, можно лишь изменить в ту или другую сторону содержание всех трех кислотных окислов одновременно.

В качестве *корректирующей добавки, содержащей Fe_2O_3* , используют железную руду, колчеданные очарки, пиритовые очарки (при этом

снижается температура плавления, облегчается процесс обжига, повышается коррозионная стойкость цемента).

В качестве *корректирующей добавки, содержащей SiO_2* , обычно применяют трепел, опоку, диатомит (кремнеземистые породы), иногда, мелкие кварцевые пески (придают цементу способность затвердевать и работать в водной среде).

Дополнительное количество Al_2O_3 может быть введено в виде бокситов (ускоряет сроки схватывания цементного раствора).

Существует два *способа обработки исходного сырья* – сухой и мокрый.

По сухому способу сырьевые материалы высушиваются до влажности 1,5-2%, дозируются и измельчаются в шаровых мельницах до порошка с размерами частиц не более 100 мкм, который затем пневматическим путем тщательно перемешивается до получения однородной смеси.

Обжиг сырьевой смеси, приготовленной по сухому способу, производится следующим образом. В выносном теплообменнике смесь нагревается до 900-1000 °С (если это конвейерный кальцинатор, то через движущийся слой предварительно отгранулированного сырья пропускают горячие печные газы). Затем смесь направляют во вращающуюся печь. Она представляет собой полый, стальной цилиндр диаметром от 2 до 5 м и длиной от 30 до 200 м, покрытый изнутри огнеупорным материалом. Цилиндр располагается наклонно под углом 3-5°. Печь вращается со скоростью около 1 об/мин. Обжиг сырьевой смеси во вращающихся печах производится при температуре 1400-1500° С. Вследствие частичного расплавления обжигаемого материала и вращения печи продукт обжига получается в виде плотных гранул размером 10-30 мм.

Полученный в печи полуфабрикат, называемый *портландцементным клинкером*, охлаждается воздухом в специальном холодильнике. После охлаждения клинкер дробят, а затем размалывают в шаровых мельницах до тонкого порошка, который и представляет собой цемент.

При изготовлении тампонажного цемента в процессе помола клинкера к нему добавляют 3-6% гипса (для регулирования скорости схватывания) и 10-15% других природных или искусственных материалов (металлургического шлака, кварцевого песка, трепела, опоки и др.), называемых *минеральными добавками*. Они улучшают некоторые свойства портландцемента и позволяют экономить дорогостоящий клинкер.

При мокром способе производства сырьевые материалы измельчают с одновременным добавлением к ним воды. В результате сырьевая смесь получается в виде пульпы сметанообразной консистенции (содержание воды 35-40%), которая может перекачиваться насосами и перемешиваться сжатым воздухом. Это создает благоприятные условия для получения бо-

лее однородной смеси. Возможность получения хорошо гомогенизированной сырьевой смеси является основным преимуществом мокрого способа производства. Недостатком его является дополнительный расход топлива на испарение воды, добавленной для получения пульпы.

При мокром способе производства сырьевая смесь обжигается в длинных вращающихся печах, снабженных различными встроенными теплообменными устройствами. По мере продвижения внутри печи сырьевая смесь под действием горячих газов постепенно высушивается и нагревается. Дальнейший процесс аналогичен тому, что протекает при сухом способе производства портландцемента.

2 Минералы портландцемента

Минералы портландцемента составляют клинкер и образуются в результате обжига сырьевых окислов CaO , SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 .

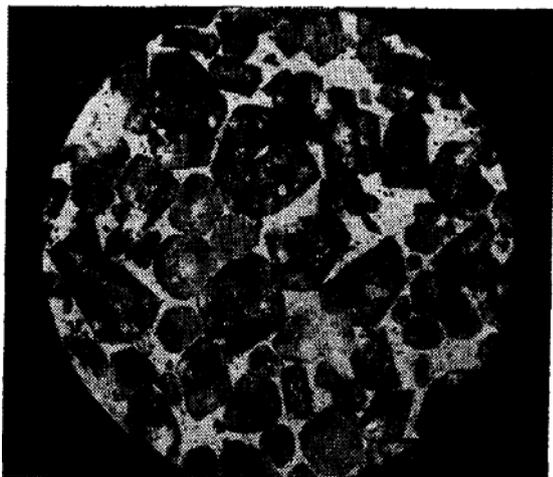


Рисунок 11 – Микрофотография шлифа портландцементного клинкера в отраженном свете: призматические кристаллы – алит, округлые кристаллы – белит

Трехкальциевый силикат ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) является важнейшим минералом портландцементного клинкера, в котором он содержится обычно в количестве 40-65% (эта форма трехкальциевого силиката в клинкере называется алитом). В соответствии с формулой чистый трехкальциевый силикат имеет молекулярный вес 228,30, содержит 73,7% CaO и 26,3% SiO_2 (по весу). В природе не встречается. Помимо портландцементного клинкера трехкальциевый силикат образуется при кристаллизации основного мартеновского шлака.

Двухкальциевый силикат ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) имеет молекулярный вес 172,22, содержит 65,1% CaO и 34,9% SiO_2 . Помимо портландцементного клинкера, в котором он присутствует в количестве от 12 до 35% (в форме белита), двухкальциевый силикат содержится в некоторых металлургических шлаках и в большом количестве (до 85%) в нефелиновом шлаке – побочном продукте производства глинозема из нефелина.

Трехкальциевый алюминат ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) наиболее активный из клинкерных минералов, имеет молекулярный вес 270,18, содержит 62,3% CaO и 37,7% Al_2O_3 . Он кристаллизуется в кубической системе и вследст-

вие изотропности оптических свойств трудно определим в прозрачных шлифах. В полированных шлифах после их протравливания различными кислотами и щелочами в отраженном свете кристаллы трехкальциевого алюмината могут быть обнаружены в виде темных пластинок прямоугольной или призматической формы, расположенных в светлом промежуточном веществе, заполняющем пространство между зернами алита и белита. Содержание трехкальциевого алюмината в клинкере может достигать 15%.

Четырехкальциевый алюмоферрит ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) – железосодержащий клинкерный минерал. Молекулярный вес составляет 485,94, содержание окислов: CaO – 46,1%, Al_2O_3 – 21,0%, Fe_2O_3 – 32,9%. При исследовании шлифов портландцементного клинкера под микроскопом ферритная наблюдается в виде темноокрашенных кристаллов. При исследовании полированных шлифов в отраженном свете образует так называемое светлое промежуточное вещество. В большинстве портландцементов содержание четырехкальциевого алюмоферрита находится в пределах 10-25%.

3 Природа процессов схватывания и твердения

При смешивании портландцемента с водой минералы клинкера вступают с ней в химическое взаимодействие. Природа процессов схватывания и твердения портландцемента очень сложна и окончательно в настоящее время еще не выяснена. Существуют две основные гипотезы, объясняющие переход жидкого цементного раствора в твердое состояние.

Кристаллизационная гипотеза объясняет способность жидкого цементного раствора к схватыванию и твердению тем, что исходные минералы портландцементного клинкера имеют значительно большую растворимость, чем их соединения с водой. По этой гипотезе при затворении цемента водой в ней быстро растворяются минералы портландцементного клинкера. В водном растворе происходит их гидратация, и они превращаются в водные соединения, растворимость которых в воде значительно меньше. В результате в воде образуется сильно пересыщенный раствор этих соединений и они выпадают в виде мельчайших кристаллов, часто характеризующихся вытянутой формой – в виде лент или игл. Эти кристаллы переплетаются между собой, а в местах контакта затем срастаются, образуя пространственную кристаллическую сетку. Объем между кристаллами заполнен водой, содержащей в растворенном состоянии продукты гидратации цемента, а также воздух, вовлеченный при затворении. Такая система, состоящая из остатков негидратированных частиц, связанных между собой войлокообразной массой переплетенных кристалликов про-

дуктов гидратации, водной фазы и воздуха, и представляет собой цементный камень.

По коллоидно-химической гипотезе минералы портландцемента гидратируются в твердом состоянии, не переходя в раствор, путем присоединения воды по поверхности. Зерна портландцемента покрываются при этом оболочкой гелеобразных продуктов гидратации, объем которых примерно в 2 раза больше объема исходной негидратированной частицы. В результате этого зерна срастиваются между собой, а их срастание постепенно упрочняется в ходе коллоидно-химических процессов упрочнения гелей.

4 Классификация тампонажных портландцементов

Согласно ГОСТа 25597-83 «Цементы тампонажные. Классификация» тампонажный портландцемент подразделяется по следующим признакам.

По вещественному составу:

- портландцемент (ПЦ) без добавок (кроме гипса),
- ПЦ с минеральными добавками не > 20 %,
- ПЦ с минеральными добавками от 20 до 80 %,
- глиноземистые цементы,
- бесклинкерные цементы.

По температуре применения:

- для низких $t (< 15^{\circ}\text{C})$,
- для нормальных ($15-50^{\circ}\text{C}$),
- для умеренных ($50-100^{\circ}\text{C}$),
- для повышенных ($100-150^{\circ}\text{C}$),
- для высоких ($150-200^{\circ}\text{C}$),
- для сверхвысоких ($> 200^{\circ}\text{C}$),
- для циклических меняющихся t .

По стойкости к агрессивному воздействию на тампонажный камень (образуется при затвердевании раствора) пластовых сред:

- стойкие к сульфатным средам,
- стойкие к кислым средам,
- стойкие к магниезальным средам,
- стойкие к полиминеральным средам.

По величине собственных объемных деформаций при твердении:

- без особых требований,
- безусадочные (величина линейной деформации расширения после 3 суточного твердения до 0,1 %),
- расширяющиеся (величина линейной деформации расширения после 3 суточного твердения более 0,1 %).

5 Разновидности портландцемента

Промышленностью выпускаются следующие разновидности портландцемента (ГОСТ 10178-76).

Портландцемент обыкновенный. Его качество характеризуется маркой, численно совпадающей со значением предела прочности при сжатии, который должны иметь через 28 суток твердения образцы (призмы 4×4×16 см), приготовленные из смеси цемента с песком состава 1:3. Методика испытания нормирована ГОСТ 310-4-81.

Требования по прочности для марок приведены в табл.9.

Таблица 9 – Характеристика марок портландцемента

Марка портландцемента	Предел прочности при сжатии, МПа, не менее
400	40
500	50
600	60
700	70

Быстротвердеющий портландцемент отличается интенсивным твердением в начальный период (первые трое суток). Ускорение твердения достигается за счет повышения в клинкере содержания минералов - $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и $3\text{CaO}\cdot\text{A}_2\text{O}_3$ и более тонкого помола (удельная поверхность выше $3500\text{ см}^2/\text{г}$ по сравнению с $2800\text{-}3000\text{ см}^2/\text{г}$ для обычного портландцемента).

Пластифицированный портландцемент требует для затворения меньшего количества воды. Это достигается введением при помоле 0,15-0,25% ССБ.

Гидрофобный портландцемент содержит гидрофобную добавку (асидол, мылонафт, олеиновая кислота, окисленный петролатум и др.) в количестве до 0,3%, которая предотвращает слеживание и замедляет ухудшение качества цемента при длительном хранении.

Сульфатостойкий портландцемент отличается от обыкновенного повышенной стойкостью к сульфатной коррозии. В состав сульфатостойкого портландцемента обычно не вводятся какие-либо добавки кроме гипса. Присутствие добавок допускается только по соглашению между поставщиком и потребителем. Эта разновидность портландцемента характеризуется также пониженным тепловыделением.

Шлакопортландцемент получается путем совместного измельчения портландцементного клинкера, доменного гранулированного шлака и гипса. Содержание шлака составляет 30-70%, причем часть шлака (не более 15%) может быть заменена активной минеральной добавкой. Шлакопорт-

ландцемент твердеет значительно медленнее портландцемента, но с повышением температуры твердения эта разница уменьшается. Шлакопортландцемент обладает значительно большей устойчивостью к агрессивному воздействию сред, содержащих сульфаты и магнезиальные соли.

Быстротвердеющий шлакопортландцемент отличается от обыкновенного шлакопортландцемента меньшим содержанием шлака (до 50%) и повышенной тонкостью помола (удельная поверхность 3500-4000 см²/г), что обеспечивает значительное ускорение твердения и высокую марку (не ниже «500»).

Пуццолановый портландцемент получают совместным помолом портландцементного клинкера, гипса и активных минеральных добавок. Содержание активных минеральных добавок может быть различным в зависимости от их вида. Добавки, представляющие собой породы осадочного происхождения, могут содержаться в количестве от 20 до 35%, вулканического происхождения – от 30 до 45%, глиежа или золы-уноса от 20 до 40%. Вследствие легкой размалываемости и тонкопористой структуры большинства добавок пуццолановый портландцемент имеет значительно большую удельную поверхность, чем обычный (до 7000 см²/г), и требует для своего затворения большего количества воды. Твердение пуццоланового портландцемента значительно замедлено по сравнению с обыкновенным, но рост прочности более продолжительный. При повышенных температурах скорость твердения в сильной степени возрастает. Пуццолановый портландцемент характеризуется большими деформациями набухания и усадки (соответственно во влажной и сухой средах) и повышенной стойкостью к сульфатной агрессии по сравнению с обыкновенным портландцементом.

Пуццолановый сульфатостойкий портландцемент отличается от обыкновенного пуццоланового портландцемента ограниченным содержанием трехкальциевого алюмината в клинкере (не более 8%) и ограниченным глиноземным модулем (не более 0,7).

Глиноземистый цемент состоит из 40% глинозема, 40% оксида кальция, 10% оксида кремния, а также оксида железа и других соединений. Цементный камень из глиноземистого цемента характеризуется большей прочностью и водонепроницаемостью по сравнению с портландцементом. Этот цемент вследствие повышенной стоимости применяется обычно в смеси с портландцементом (1:5 или 1:4) как компонент, ускоряющий схватывание.

Известково-кремнеземистый цемент представляет собой смесь гашеной извести с кварцевым песком различной дисперсности или с тонкодисперсным кремнеземом (диатомитом, трепелом, опокой). Он применяется при повышенных температурах в скважинах, характеризуется

быстрым схватыванием и низкой водоудерживающей способностью.

6 Свойства сухого цементного порошка

Плотность тампонажного портландцемента может быть вычислена по формуле

$$\rho = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n}{\frac{c_1}{\rho_1} + \frac{c_2}{\rho_2} + \frac{c_3}{\rho_3} + \dots + \frac{c_n}{\rho_n}}, \text{ кг/м}^3,$$

где c_1, c_2, c_3, c_n – выраженное в весовых долях содержание компонентов в цементе; $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_n$ – соответствующие плотности компонентов, кг/м^3 .

Значения плотностей наиболее часто встречающихся компонентов тампонажного портландцемента и важнейших специальных цементов приведены в табл.10.

Таблица 10 – Плотность материалов, встречающихся в тампонажных цементах в качестве компонентов

Материалы	Плотность, г/см^3
Портландцементный клинкер	3,1–3,2
Кварцевый песок	2,6–2,7
Известняк	2,7–2,9
Шлаки металлургические	2,7–3,0
Гипс	2,2–2,4
Диатомит	2,3–2,5
Опока, трепел	2,6–2,8
Зола топливная	2,8–3,0
Известь	2,7–2,9
Пемза	2,4–2,5
Огарки колчеданные (пиритные)	3,2–3,6
Гематит	4,9–5,1
Барит	4,3–4,4
Глиеж	2,6–2,7
Глинопорошки	2,3–2,7

Если состав цемента неизвестен, то плотность порошка можно легко измерить экспериментально с помощью пинкометра в инертной по отношению к цементу жидкости (например, в углеводородной). Плотность тампонажного портландцемента находится в пределах $2600\text{--}4000 \text{ кг/м}^3$.

Насыпная масса – масса порошка, вмещающаяся в емкость объемом

1 м³. Эта масса непостоянна, зависит от степени уплотнения (например, самоуплотнения при транспортировке) и дисперсности; в рыхлом (свеже-насыпанном) состоянии составляет 800-1200 кг/м³, в уплотненном — 1700-1900 кг/м³

Угол естественного откоса 40-42°.

Гранулометрический состав ПЦ колеблется в следующих пределах

Размер частиц, мкм	<7	7-10	10-20	20-30	30-50	50-80	>80
Весовое содержание частиц, %	15-35	5-15	10-20	10-20	10-20	10-15	6-12

Для быстрого затвердевания необходимо присутствие в достаточном количестве самых мелких частиц, для повышения долговечности затвердевшего тампонажного материала (камня) – наличие относительно крупных частиц.

Тонкость помола характеризуется весом оставшейся на сите с величиной отверстий 80 мкм частиц пробы ПЦ, выраженным в % к весу всей пробы. Обычно 6-13 %.

Суммарная поверхность частиц, заключенных в 1 г порошка обыкновенного тампонажного портландцемента, составляет 1,1-3,5 м²/г.

7 Правила поставки тампонажного портландцемента

Согласно ГОСТ 1581-83 размер партии цемента устанавливается в количестве не более 200 т. При отправке цемента водным транспортом допускается увеличение партии до 300 т.

Завод-изготовитель одновременно с отправкой цемента обязан снабдить каждую партию цемента паспортом, в котором указываются: название завода-изготовителя, номер партии, наименование и адрес получателя, номера вагонов (номер судна) и накладных, название цемента, вид добавки и количество добавки в процентах (по среднесуточным производственным данным), соответствие цемента требованиям ГОСТа, дата изготовления образцов и результаты их испытаний.

Отправляя цемент в бумажной таре, завод-изготовитель обязан ставить штамп или наклеивать ярлык на каждый мешок. На штампе или ярлыке должны быть указаны: номер партии, вид цемента и дата отгрузки.

8 Виды упаковки тампонажного портландцемента

Тампонажный цемент, поступает с завода к потребителю затаренным в бумажные мешки и навалом.

Бумажный мешок вмещает 48-50 кг цемента. Он изготовлен из пяти слоев плотной бумаги. Два-три бумажных слоя пропитаны битумным водоотталкивающим составом. В особых случаях и при отгрузке на экспорт бумажную упаковку упрочняют оболочкой из мешковины.

В последнее время все чаще используется бестарный метод перевозки цемента. Использование транспортных средств общего назначения для бестарной перевозки цемента требует применения специальных разгрузочных механизмов.

Для разгрузки порошкообразных материалов, прибывающих навалом в обычных крытых железнодорожных вагонах, применяются пневматические разгрузчики всасывающего действия С-347 и С-362. Область применения разгрузчиков всасывающего действия вследствие их большой энергоемкости ограничивается главным образом крупными цементными складами.

Наиболее эффективно использование разгрузчиков нагнетательного действия С-606Б и С-653Н с горизонтальным напорным шнеком. Эти разгрузчики позволяют производить выгрузку цемента на расстояние до 25 м по горизонтали и высоту 30 м, что должно обеспечить одноступенчатую перегрузку порошкообразных материалов из вагона в силосные банки на всех прирельсовых складах.

По сравнению с перевозкой в затаренном виде транспортирование цемента навалом имеет ряд преимуществ. Стоимость одной лишь бумажной тары, используемой обычно однократно, составляет более 10% стоимости цемента. Кроме того, доставка цемента в мешках сопряжена с большой трудоемкостью перегрузочных операций и большими потерями цемента от распыления и остатков в бумажной таре.

9 Транспортирование тампонажного портландцемента

Способ транспортирования цемента от заводов-поставщиков до перевалочных баз зависит от обеспеченности этих баз специальными сооружениями для хранения цемента и разгрузочными механизмами.

На базы, снабженные складами для бестарного хранения порошкообразных материалов, цемент может доставляться как в специализированных транспортных средствах (автоцементовозы, цементносмесительные машины), так и в транспортных средствах общего назначения (бортовые автомобили, баржи общего назначения при транспортировании водным

путем). Преимуществом первого метода перевозки является уменьшение трудоемкости загрузки и выгрузки, устранение потерь от пыления при погрузке, предохранение цемента от вредного воздействия атмосферных осадков. Однако недостатком всех специализированных транспортных средств являются неизбежные порожние пробеги в обратном направлении, что делает их экономически выгодными только при определенных дальностях перевозок. Наиболее эффективно их можно применять в условиях интенсивного использования, что может быть достигнуто при дальностях перевозок, не превышающих 300-400 км.

10 Правила хранения тампонажного портландцемента

Правильное хранение цемента и других тампонажных материалов должно обеспечивать: сохранность кондиции материала; недопустимость смешивания цемента различных партий; уменьшение потерь при обращении; удобство и безопасность при погрузке.

Длительное хранение *затаренного цемента* допустимо лишь в закрытых сухих помещениях.

Цемент каждой партии должен храниться в отдельных штабелях. Между штабелями должен быть проход шириной не менее 2 м. Высота каждого штабеля не должна превышать высоты 10-12 мешков, уложенных в горизонтальном положении.

При укладке цемента в штабеля нужно следить, чтобы ярлыки, наклеенные на мешках, или штампы были сверху.

При разгрузке и погрузке цемента мешки могут порваться, что приводит к образованию цементных отходов. В этом случае по окончании работы весь рассыпанный цемент должен быть удален из склада или надежно изолирован.

Цементные мешки, вскрытые с целью отбора проб для анализа, должны храниться отдельно.

В период длительного хранения цемент подвергается испытанию один раз в десять дней. Отбор проб в каждом случае целесообразно производить из одних и тех же мешков с целью уменьшения отходов. Поэтому вскрытые мешки следует хранить до конца использования всей партии.

При длительном хранении цемента на складах необходимо один раз в месяц перекладывать штабеля, чтобы не допустить слеживания (спрессовки) цемента в мешках.

У буровых цемент необходимо складывать на специальные площадки в местах предполагаемой установки цементосмесительных машин.

Количество цемента на каждой площадке или специально оборудо-

ванных санях не должно превышать 20 т, то есть вместимость бункера одной цементосмесительной машины.

Пол площадки или саней должен быть расположен над землей не ниже 50 см. Укладывая цементные мешки на площадке, следует предусмотреть порядок, который мог бы создать наибольшие удобства при разборке штабеля.

Перед укладкой в штабель мешки нужно расшить или разрезать шов в торцевой части. Затем из мешков нужно построить «стену», своей формой напоминающую трехгранную призму, и с наклоном в 70-80° укладывать остальные мешки рядами по 4-5 мешков. Разборку штабеля при затворении цемента или загрузке бункера цементосмесительной машины следует начинать с противоположной стороны от «стены».

Для предохранения цемента от вредного воздействия атмосферных осадков штабель должен быть укрыт брезентом. При этом края брезента должны прикрепляться к кромкам пола площадки.

Для *бестарного хранения* цемента и других тампонажных материалов целесообразно использовать прирельсовые механизированные склады. Институт Гипронефтемаш предлагает два типа таких складов вместимостью 1000 и 2000 т цемента.

Один тип склада отличается от другого вместимостью и количеством емкостей (силосов). Склад вместимостью 2000 т имеет четыре силоса по 500 т каждый; вместимостью 1000 т состоит из десяти стотонных емкостей.

При выборе той или иной модификации при строительстве механизированных складов нужно учесть следующие условия.

1. Емкость склада выбирается таким образом, чтобы цемент в силосах хранился не более одного месяца, так как несмотря на хорошие условия хранения в механизированных складах цемент при более длительном хранении постепенно теряет свои качества. Поэтому в районах работ, где расход тампонажного цемента не превышает 1000 т в месяц, целесообразней строить склад меньшей емкости.

2. В некоторых районах со сложными условиями бурения применяется целая гамма цементов и различных тампонажных смесей. Согласно правилам хранения тампонажные материалы должны размещаться в строгой изоляции друг от друга. В таких условиях следует строить склады с небольшим количеством силосов с целью одновременного хранения материалов различного назначения.

Цементные склады емкостью 2000 т целесообразно строить в районах с большим объемом буровых работ, где условия бурения не требуют большого разнообразия тампонажных материалов.

ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

1 Гипс как тампонажный материал

В качестве самостоятельного тампонажного материала используется высокопрочный гипс, представляющий собой полугидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, отличающийся от строительного гипса лишь способом производства. Плотность гипса $2,6-2,75 \text{ г/см}^3$.

Твердение гипса при затворении порошка водой происходит в результате химической реакции



Гипс – быстросхватывающееся вяжущее вещество, поэтому при использовании его в качестве основного материала в раствор необходимо вводить замедлители схватывания. Скорость схватывания гипса возрастает при повышении температуры до $50 \text{ }^\circ\text{C}$. При дальнейшем повышении температуры сроки схватывания удлиняются, а при $80-90 \text{ }^\circ\text{C}$ гипсовый раствор не схватывается.

Механическая прочность на изгиб камня из гипсового раствора уже через 3-5 часа достигает $2,5-3 \text{ МПа}$. Одна из важнейших особенностей гипсового камня – его низкая водостойкость. В результате растворения в воде двуводного сульфата кальция прочность гипсового камня быстро снижается вплоть до полного разрушения. Если вода содержит соли, повышающие растворимость CaSO_4 (например NaCl), то прочность гипсового камня снижается быстрее.

2 Глина как тампонажный материал

Требования к качеству глины как добавки к компоненту тампонажной смеси определяются назначением смеси. Практически используются все разновидности глин, вплоть до суглинков. Можно выделить несколько функций глины в тампонажных смесях.

1. Облегчающая добавка. Наличие глины в смеси всегда требует повышенного количества воды для затворения, что приводит к уменьшению плотности раствора.

2. Структурирующая добавка. Даже небольшие добавки глины приводят к увеличению реологических параметров раствора, повышают его седиментационную устойчивость, показатель фильтрации. Чем выше качество глины, тем активнее она выполняет эти функции и тем меньшее количество ее вводится.

3. Основной компонент тампонажного раствора (в глиноцементных

растворах, соляро-бентонитовых смесях и др.). Здесь также предпочтительны высококачественные глины.

4. Дешевый наполнитель, сокращающий расход цемента при больших объемах тампонирования (например, при ликвидационном тампонировании). Здесь используются самые низкие сорта глины и суглинки.

Добавки глины уменьшают прочность тампонажного камня и его устойчивость в минерализованных подземных водах и при повышенных температурах.

3 Синтетические смолы и отвердители

Смолы представляют собой высокомолекулярные органические вещества – полимеры. Молекулы полимеров могут иметь относительную молекулярную массу, измеряемую миллионами единиц, и соединять сотни тысяч атомов. Размеры молекул обуславливают различные качества синтетических смол и продуктов их твердения. С увеличением относительной молекулярной массы растет прочность вещества в твердом состоянии, повышается температура плавления, снижается растворимость. Большинство органических полимеров имеют низкую теплостойкость, не превышающую 100 °С.

Получение синтетических смол сводится к превращению исходных низкомолекулярных веществ в высокомолекулярные.

При этом может протекать реакция полимеризации или поликонденсации. Полимеризация представляет собой процесс соединения большого числа молекул низкомолекулярных веществ в одну большую макромолекулу высокомолекулярного вещества. Поликонденсация — это процесс образования высокомолекулярного вещества, происходящий с выделением побочных продуктов: воды, аммиака, хлористого водорода и др. Полимеризация сопровождается уменьшением объема полимеризующейся массы вследствие замены межмолекулярных связей межатомными. Потеря объема при твердении в процессе полимеризации 100% смолы может достигать до 10-12%, при разбавлении водой усадка увеличивается.

Характер изменения объема при твердении зависит от условий: твердение на воздухе, как правило, увеличивает усадку.

Исходные смолы характеризуются составом, условной вязкостью, величиной рН. Тампонажный камень характеризуется внешним видом и пределами прочности на сжатие, разрыв и изгиб.

Применяются карбамидные смолы – продукты конденсации мочевины (или тиомочевины) с формальдегидом; феноло-формальдегидные смолы – продукты конденсации альдегидов (главным образом формальдегидов) с фенолами; синтетические полимеры на основе полиакриламида и

гидролизованного полиакрилонитрила (гипана).

Наиболее распространены *карбамидные смолы*: мочевино-формальдегидные (МФ-17, МФ-60, М-270, М-19-62), меламино-мочевино-формальдегидные (ММФ-50), мочевино-формальдегидно-фурфурольные (МФФ-М). Эти смолы представляют собой жидкости от белого до темно-коричневого цвета плотностью 1,17-1,5 г/см³. Прочность камня довольно высока: при сжатии до 250 МПа, при разрыве до 100 МПа, при изгибе до 120 МПа.

В качестве отвердителей таких смол используются органические или минеральные кислоты – щавелевая, реже лимонная, соляная, фосфорная, а также соли – хлорное железо, хлорный цинк, хлористый аммоний. Наиболее широко применяется соляная и щавелевая кислоты. Как правило, их добавляют в виде водного раствора, хотя щавелевую кислоту можно использовать и в сухом виде. Концентрация соляной кислоты в водном растворе из соображений безопасности не должна быть более 10%. Все это необходимо учитывать при выборе соотношения компонентов в рабочем растворе, так как общее содержание воды не должно быть более 50%. Щавелевая кислота – более безопасный отвердитель, чем соляная кислота, но тоже токсична. При ее введении растягивается начало твердения, вследствие этого смещается и конец твердения.

Мочевино-формальдегидные смолы изменяют свои свойства и свойства конечного продукта при длительном хранении. Наиболее стабильна в этом отношении меламино-мочевино-формальдегидная смола ММФ-50.

Феноло-формальдегидные смолы – продукты конденсации фенолов с формальдегидом. Они отверждаются как в кислой, так и в щелочной среде, в зависимости от соотношения количеств фенола и формалина и величины рН среды могут образовываться и термопластичные, и терморезистивные системы.

Фенолы представляют собой продукты сланцевой химии. На основе фенолов известны резорцино-формальдегидная смола ФР-12; смесь сланцевых водорастворимых фенолов с этиловым спиртом ФРЭС; состав ТДС-9, представляющий смесь сланцевых водорастворимых фенолов, этилового спирта, раствора едкого натра и пластификатора (диэтиленгликоля); состав ТС-10, смесь так называемых суммарных сланцевых фенолов и т. д.

Рабочий раствор ФРЭС – это смесь продукта ФРЭС с 37% формалина в отношении 1:0,7. Время начала твердения – 180 мин.

Рабочий раствор ТСД-9 готовится смешиванием исходного продукта с водой и формалином в отношении 1:0,3:0,7. Начало твердения наступает через 3-4,5 ч. Реже в качестве отвердителя используется параформ.

Применяются и другие смолы, в частности резольная строительная смола ФРВ-1А. Она может содержать 1% алюминиевого порошка, кото-

рый реагирует как с кислотами, так и со щелочами с выделением водорода. При взаимодействии с отвердителем объем состава увеличивается в 10-15 раз.

Все большее применение получают эпоксидные смолы. В отличие от других смол они обладают значительными преимуществами: продукт отверждения стоек к агрессивным воздействиям высокоминерализованных вод, имеет высокие физико-механические свойства, не дает усадки, не выделяет летучих, обладает хорошей адгезией. Отвердители эпоксидных смол – многоосновные карбоновые кислоты, ангидриды кислот (фталевый ангидрид, малеиновый ангидрид), полиамины, диамины (гексаметилендиамин), карбамидные смолы.

Наиболее распространены диановые эпоксидные смолы ЭД-5 и ЭД-6, которые получают путем поликонденсации эпихлоргидрина и дифенолов в присутствии щелочи. По внешнему виду они представляют собой прозрачную жидкость от светло-желтого до коричневого цвета.

4 Синтетический латекс

Синтетический латекс – многокомпонентная система, получаемая путем эмульсионной полимеризации. Это молочно-белая жидкость плотностью 0,96-0,97 г/см³ с содержанием воды до 56% и каучука до 37%. Кроме того, в ее состав входят 2-2,7% белков, 1,6-3,4% смол, 1,5-4,2% сахара и 0,2-0,7% золы. Каучук в латексе находится в виде отрицательно заряженных взвешенных глобул, размеры которых колеблются от 0,1 до 6 мкм. На поверхности частиц каучука находится адсорбционный слой поверхностно-активных веществ (белков, жирных кислот и др.), препятствующий коагуляции и обеспечивающий устойчивость латекса.

Латекс обладает также способностью самопроизвольно коагулировать. Особенно быстро коагуляция происходит под действием тепла. Поэтому его следует хранить в закрытом холодном помещении. В углекислотной среде латекс не коагулирует. Он применяется главным образом для борьбы с поглощением. Используются следующие марки латексов с высокой концентрацией сухого вещества (50-60%): СКС-50КГП, СКС-300Х, СКС-С.

Латекс коагулирует при смешивании с раствором солей двух- и трехвалентных металлов, в результате чего образуется эластичная и плотная каучуковая масса, закупоривающая каналы фильтрации. Для увеличения прочности тампонов в латекс добавляют до 15% лигнина. Чаще применяются малоцентрированные латексы (МКЛ) с содержанием сухого вещества 25-30%. Их марки: ДВХВ-70, ДМВП-100, СКМС-3ОАРК. Латексы МКЛ менее дефицитны и примерно в 2 раза дешевле высококонцентриро-

ванных. Основной коагулятор латексов – раствор хлористого кальция в концентрации не менее 3%, хотя используются соли других двух- или трехвалентных металлов. Скорость коагуляции регулируется концентрацией хлористого кальция.

5 Битумы

Битумы применяются в чистом виде и в тампонажных составах для борьбы с поглощениями промысловых жидкостей. Они могут быть нефтяными и природными; делятся на твердые, полутвердые и жидкие. Нефтяные битумы получают в результате переработки нефти. По химическому составу это высокомолекулярные органические соединения. Их состав и свойства определяются образующими компонентами: маслами, смолами, асфальтенами, карбенами, карбоидами, парафинами, асфальтогеновыми кислотами, ангидридами асфальтогеновых кислот.

Битумы и битумные смеси используются в расплавленном виде. Остывая в каналах поглощения, они затвердевают и надежно изолируют проницаемую зону от ствола скважины. Однако, чистые битумы – вязкие тела, текут (расплываются) под действием перепада давления в скважине даже в твердом виде. Кроме того, они плохо разбуриваются, налипают на породоразрушающий инструмент. Чем меньше твердость и хрупкость битума, тем в большей мере проявляются эти отрицательные свойства. Лучшими тампонирующими и технологическими свойствами обладают битумные смеси – битумы с добавками парафина, цемента, песка, глины.

6 Жидкости затворения

Дисперсионной средой тампонажных растворов служат пресная и минерализованная воды, реже – углеводородные жидкости. Наиболее широко применяется пресная вода. Каких-либо особых требований к ней не предъявляется. Минерализованные воды используются при затворении цементных растворов, предназначенных для тампонирувания соленосных отложений.

Тампонажные смеси на концентрированных растворах солей предупреждают выщелачивание соли со стенок скважины и существенно не ухудшают своих свойств при попадании в них солей. Консистенция цементных составов, затворенных на растворах солей, намного ниже, чем затворенных на пресной воде. Сроки схватывания изменяются в зависимости от вида и концентрации соли. Применяются растворы NaCl, MgCl₂, карналлита (KClMgCl₂·6H₂O) вплоть до насыщенных.

Тампонажные растворы на минерализованной воде имеют повышен-

ные плотность и прочность цементного камня. Коррозионная стойкость их ухудшается. Минерализованная вода рекомендуется в качестве жидкости затворения и для тампонажных растворов, применяемых в многолетнемерзлых породах. Причем подбирается соль, одновременно существенно сокращающая сроки схватывания.

В качестве дисперсионной среды тампонажных растворов ограничено используются углеводородные жидкости. Это в основном дизельное топливо и нефть (в соляно-бентонитовых смесях, нефцецементных растворах).

7 Добавки

Кремнеземистые облегчающие добавки в количестве 25% и больше вводят в цементные растворы. К этой группе добавок относятся диатомит, трепел, опока, селикагель и др. Наиболее существенное свойство кремнеземистых облегчающих добавок – их благоприятное влияние на количество и состав связующего вещества цементного камня. Растворы с этими добавками обладают ускоренными сроками схватывания, особенно при повышенных температурах. Коррозионная стойкость тампонажного камня в кислых и сульфатных водах также повышенная.

Измельченные облегчающие добавки вулканического происхождения (вспученный перлит, пемза, вулканические пеплы, туфы); карбонатные (мел и известняк); добавки органического происхождения (пластмассы, каменный уголь, гильсонит и т. п.); облегчающие добавки из промышленных отходов (пылевидные топливные золы, пыль электрофильтров) получили меньшее распространение.

Утяжелители добавляют к тампонажным растворам для получения более высокой плотности их. В качестве утяжеляющих добавок применяются кварцевые и магнетитовые пески, состоящие из кварца и диспергированного магнетита, без предварительного их измельчения. При этом плотность раствора можно увеличить до 2,2-2,4 г/см³.

Для получения более высокой плотности раствора используются порошкообразные материалы, применяемые также для утяжеления промысловых жидкостей: барит, гематит, магнетит. Для цементных растворов утяжеляющая способность этих материалов зависит не только от их плотности, но и от удельной поверхности порошка. Увеличение тонкости помола утяжелителя сопряжено с повышением количества воды, потребляемой для смачивания зерен (в противном случае раствор теряет текучесть). Увеличение объема воды как легкого компонента раствора ведет к понижению его плотности. Но введение в раствор грубодисперсных утяжелителей может вызвать их седиментацию, которая приводит к серьезным ос-

ложнениям при цементировании.

Песок вводится в большинстве случаев в немолотом виде, однако для получения цементно-песчаных смесей низкой плотности при высоких температурах и давлении помол песка обязателен. В ряде случаев, особенно при получении шлаковых цементов, песок добавляется в клинкер при помоле. Поэтому нижняя граница размеров частиц песка не ограничивается.

Для введения в тампонажные составы предпочтительны кварцевые пески. Полевошпатовые пески нежелательно применять в связи с их пониженной стойкостью в водах, содержащих углекислоту. Желательно добавлять чистый кварцевый песок, однако присутствие глины в небольшом количестве не способствует снижению механической прочности и повышает плотность камня. В то же время наличие глины в песке требует увеличенного количества воды при затворении тампонажного раствора.

Высокое содержание крупных фракций нежелательно, так как они могут осаждаться уже в процессе приготовления тампонажного раствора. Для кварцевого песка плотностью $2,6 \text{ г/см}^3$ допустимый размер зерен — 0,7 мм, для кварцево-железистых — 0,3-0,4 мм.

При добавках песка сокращается расход цемента, повышаются коррозионная и термоустойчивость тампонажного камня, сохраняется и в ряде случаев возрастает его прочность. Сроки схватывания раствора при введении немолотого песка увеличиваются, с повышением тонкости помола кварцевого песка растет его удельная поверхность и, следовательно, активность, что приводит к сокращению сроков схватывания, особенно при повышенных температурах.

Наполнители (закупоривающие материалы) применяются в тампонажных смесях, используемых для борьбы с поглощениями промывочной жидкости. Это те же наполнители, что и для промывочных жидкостей, концентрация их составляет 25-50 кг/м³. Наиболее эффективные материалы — хлопьевидные (пластинчатые), такие, как целлофан, слюда, обрезки хлорвинилового пленки с размерами частиц до 5 мм, а также комбинации хлопьевидных и зернистых. Наполнители ухудшают прочностные характеристики тампонажного камня.

СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Свойства твердых материалов условно подразделяют на три группы: физические, механические и технологические.

Физические свойства присущи каждому материалу и проявляются при воздействии физических полей или сред. При испытаниях этих свойств образец обычно не разрушается и не испытывает необратимой деформации. К физическим свойствам относят плотность, температуру плавления, тепловые, электрические, магнитные, термоэлектрические свойства, способность материала сопротивляться окислению (коррозии) при обычных и повышенных температурах, на воздухе, в газовых или жидких средах.

Механические свойства – это характеристики материала, определяющие его поведение под действием приложенных внешних механических сил.

Технологические свойства имеют весьма большое значение при получении заготовок и деталей: при литье, пластической деформации, термической обработке, сварке и обработке резанием. Они характеризуют пригодность материалов для технологических операций изготовления из них заготовок и деталей.

1 Механические свойства

Испытания механических свойств проводят при различных нагрузках – статических, динамических и циклических. Статические нагрузки медленно возрастают от нуля до максимальной величины; динамические возрастают быстро, за доли секунды; циклические нагрузки характеризуются многократным изменением по направлению и (или) по величине.

В соответствии с характером действующих нагрузок различают статические, динамические и усталостные испытания.

Свойства, определяемые при статических испытаниях

Виды и схемы испытаний при статических нагрузках показаны на рис. 12.

Наиболее «мягкой» схемой нагружения являются испытания на сжатие. Таким испытаниям подвергают чугуны, горные породы (для последних устанавливают при данных испытаниях крепость по Протодюконову). Наиболее «жесткой» схемой нагружения является одноосное растяжение. Таким испытаниям подвергают пластичные материалы (стали, цветные металлы и сплавы). Если материал выдержал растягивающие нагрузки, то

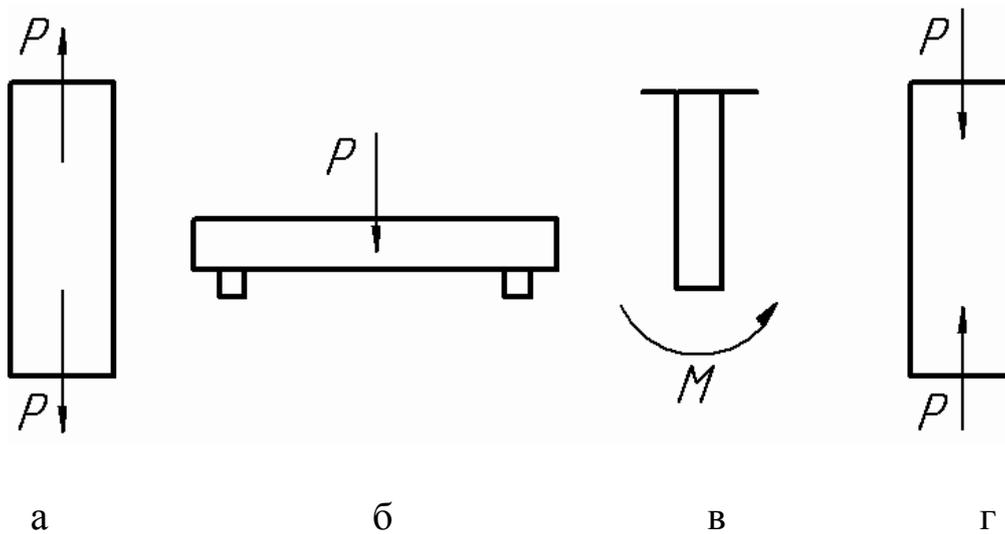


Рисунок 12 – Схемы нагружения при испытаниях: а – на растяжение, б – на изгиб, в – на кручение, г – на сжатие

он будет работоспособен и при других видах статического нагружения.

Испытания на растяжение проводят на специальных образцах в соответствии с ГОСТ 1497-84 (рис. 13).

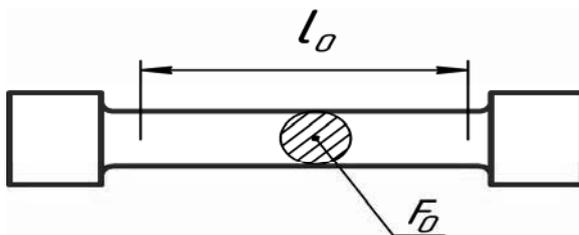


Рисунок 13 – Образец для испытаний на растяжение

В процессе испытаний на растяжение на разрывных машинах записывается диаграмма в координатах «нагрузка – удлинение образца» (диаграмма растяжения). Образцы из разных материалов разрушаются в

результате испытаний различно (рис.14). Площадь под кривой деформации на диаграмме растяжения – это работа, необходимая для разрушения образца.

По диаграмме определяют:

- **предел прочности при растяжении (временное сопротивление)** σ_B , МПа – напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке P_{max} , предшествующей разрушению образца, отнесенное к начальной площади F_0 его поперечного сечения до испытания:

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0};$$

- **предел текучести** σ_T , МПа – наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки (зона текучести). Так как для ряда материалов на кривых растяжения нет площадки текучести (рис.14,б), для них используется условный предел

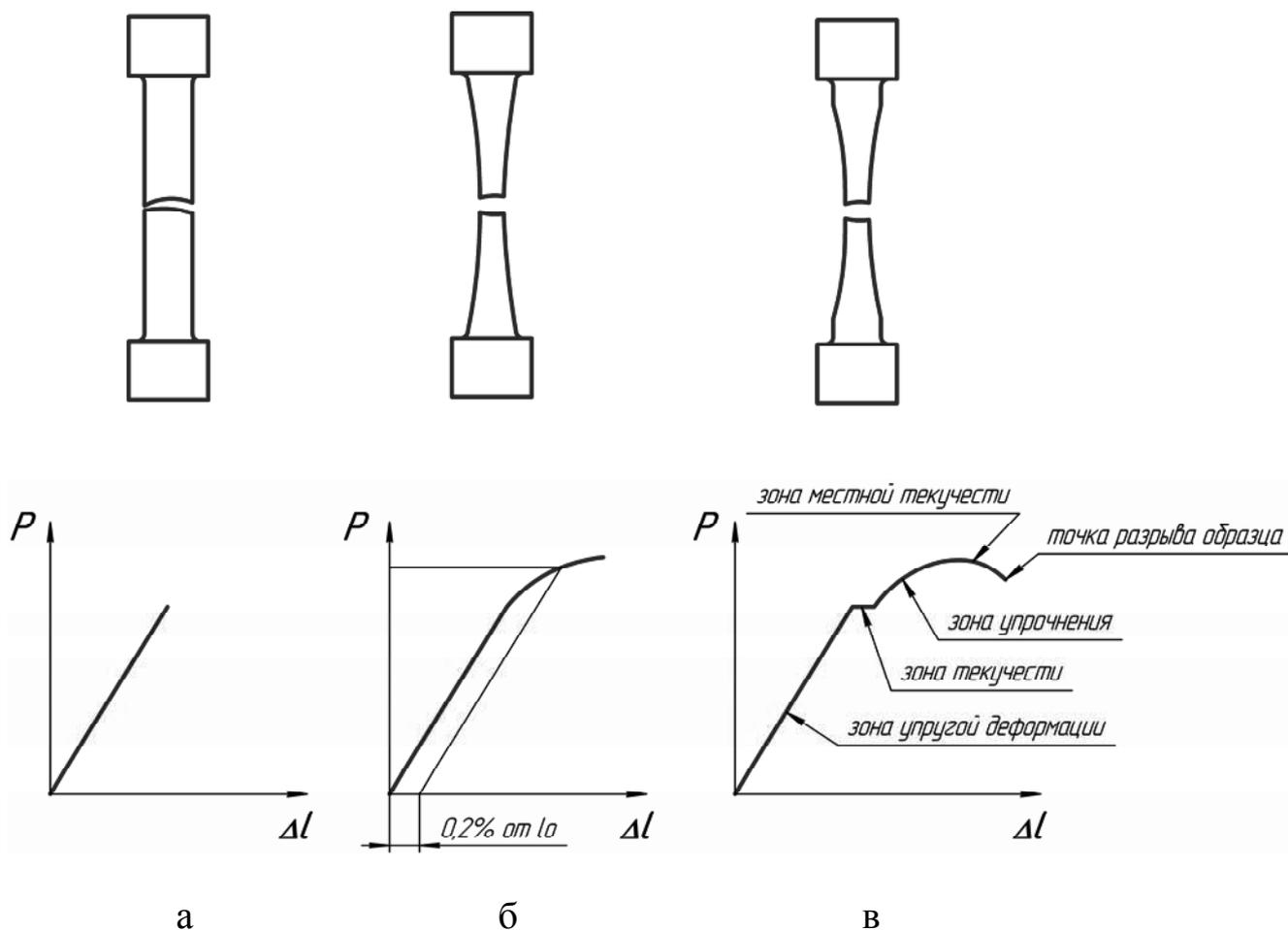


Рисунок 14 – Схемы разрушения образцов различных материалов:
 а – образец разрушился без заметной пластической деформации;
 б – образец равномерно деформировался вплоть до разрушения;
 в – образец разрушился после образования шейки

текучести $\sigma_{0,2}$ – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2 % расчетной длины l_0 образца;

- **относительное удлинение** δ , % – отношение приращения расчетной длины образца Δl_0 после разрыва к его первоначальной расчетной длине l_0 :

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} 100 ;$$

- **относительное сужение** $\psi = \frac{\Delta d}{d} 100$, %

В упругой области нагружения (рис.14,а), где имеется прямая пропорциональность между удлинением образца и соответствующей нагрузкой, основной характеристикой является модуль упругости (модуль Юнга):

$$E = \frac{\sigma}{\delta}, \text{ МПа.}$$

Названные характеристики материалов являются базовыми. Они включаются в ГОСТ на поставку конструкционных материалов, в сертификаты, в паспорта приемочных испытаний, входят в расчеты прочности.

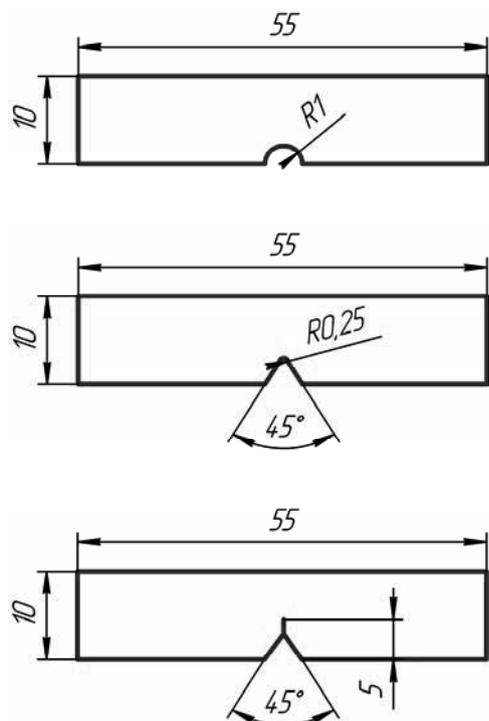


Рисунок 15 – Образцы для испытаний на удар: а – U-образный надрез; б – V-образный надрез; в – образец с трещиной

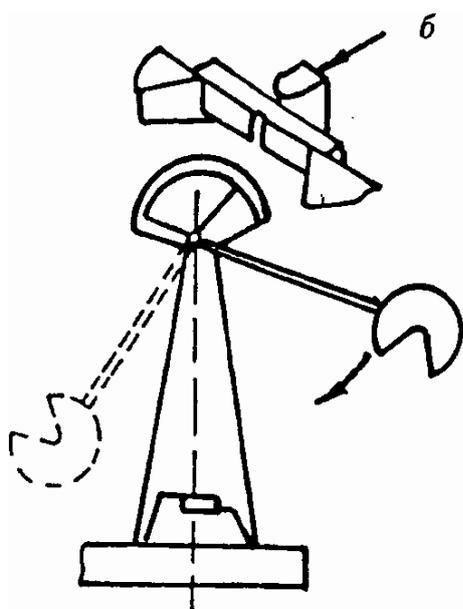


Рисунок 16 – Схема маятникового копра (а) и разрушения образца ножом маятника (б)

Свойства, определяемые при динамических испытаниях

При динамических нагрузках проводят испытания на изгиб, на растяжение, сжатие и кручение. Наибольшее применение получили испытания на ударный изгиб, которые позволяют выявить склонность металла к хрупкому разрушению и степень надежности материала. Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 9454-78 на образцах с концентраторами напряжений трех видов: *U* с радиусом $R=1$ мм, *V* с радиусом $R=0,25$ мм и *T* – усталостная трещина (рис.15).

Испытания проводят на маятниковом копре (рис.16).

В результате испытаний определяют **ударную вязкость** K_C (МДж/м^2), представляющую собой отношение работы удара к начальной площади поперечного сечения образца в месте надреза. В зависимости от формы надреза ударная вязкость обозначается K_{CU} , K_{CV} или K_{CT} .

Недостаток ударных испытаний – они не используются для прочностных расчетов, а позволяют только получать сравнительные оценки поведения различных материалов при ударных нагрузках.

Свойства, определяемые при усталостных испытаниях

Большинство деталей работает в условиях циклических (переменных как по величине, так и по знаку) на-

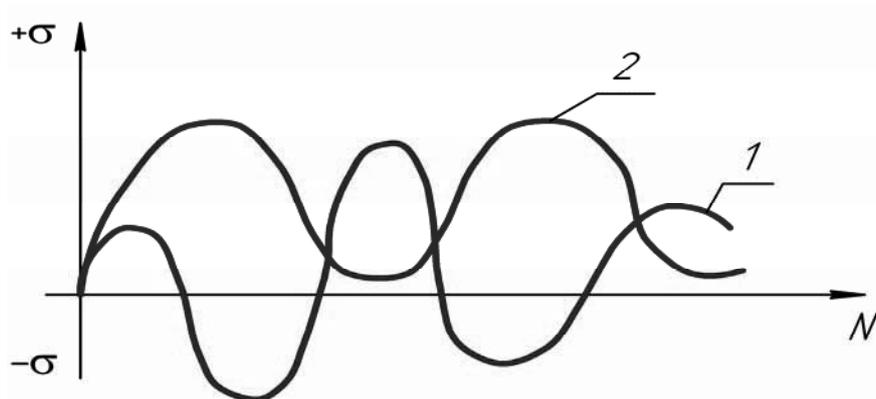


Рисунок 17 – Схема циклического нагружения:
 $+\sigma$ – напряжения растяжения; $-\sigma$ – напряжения сжатия; N – число циклов;
 1 – знакопеременное нагружение;
 2 – знакопостоянное нагружение

грузок. Схема циклических нагрузок показана на рис.17.

Материалы, испытывающие переменные по величине и особенно знакопеременные нагрузки, разрушаются при напряжениях значительно ниже предела прочности и даже ниже предела текучести материала.

Испытания образцов при циклических нагрузках позволяют установить предел выносливости, ограниченную долговечность и живучесть материала.

Усталость – это процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящий к образованию трещин и разрушению.

Свойство материала противостоять усталости называется **сопротивлением усталости**.

Испытания при циклических нагрузках проводят по ГОСТ 25.502—79 на специальных образцах, один из типов которых показан на рис. 18.

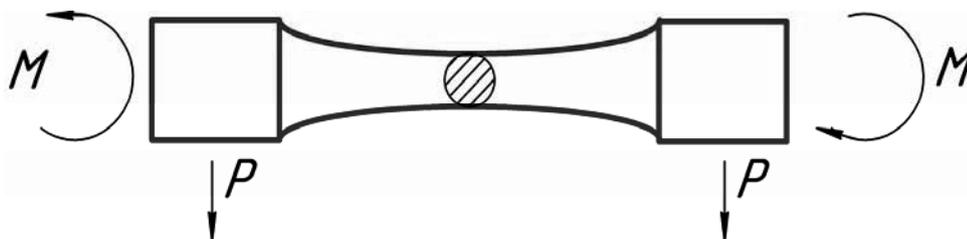


Рисунок 18 – Образец для испытаний на усталость по схеме нагружения «изгиб с вращением»

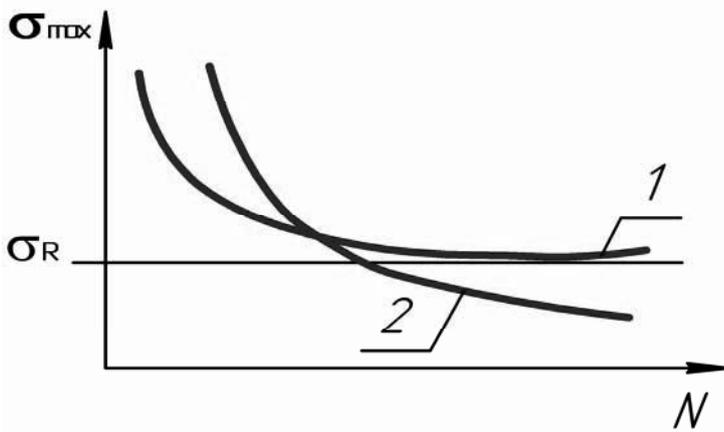


Рисунок 19 – Усталостная кривая

По результатам испытаний серии образцов строят кривую усталости (кривую Веллера) (рис.19).

Для сталей при невысоких температурах испытаний характерна кривая 1, для цветных сплавов, а также для сталей при высоких температурах и в коррозионной среде – кривая 2. По кривой 1 устанавливают **предел выносливости** σ_R (МПа) – максималь-

ное напряжение цикла, при котором еще не происходит усталостного разрушения образца после заданного (базового) числа циклов нагружения. Базовое число циклов для стали $(5-10) \cdot 10^6$, для цветных сплавов – $100 \cdot 10^6$. Для материалов, у которых кривые усталости, непрерывно понижаются (кривая 2 на рис.19), устанавливают **предел ограниченной выносливости** σ_{RN} (напряжение, соответствующее заданному числу циклов нагружения).

Предел выносливости материала резко снижается при наличии концентраторов напряжений на поверхности – царапин, задиров, трещин, надрезов и т.д., так как усталостная трещина начинается с поверхности.

Живучесть – это долговечность детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости размером 0,5-1 мм до окончательного разрушения.

Твердость – это свойство поверхностного слоя материала сопротивляться упругой и пластической деформации при местных контактных воздействиях со стороны другого тела (индентора), не получающего остаточной деформации.

Измерение твердости широко применяется в связи с высокой производительностью, возможностью оценки свойств деталей различных размеров без разрушения, а также возможностью примерной оценки предела прочности, предела выносливости и других характеристик по результатам измерений твердости.

Наибольшее применение получили методы измерения твердости, основанные на вдавливании в испытуемый материал шарика (твердость по Бринеллю), алмазного конуса (твердость по Роквеллу) и алмазной пирамиды (твердость по Виккерсу). Схемы измерения твердости показаны на рис.20. Меньшее применение получили методы, основанные на ударном приложении нагрузки (твердость по Шору, Польди) и царапаний (твердость по Моосу).

При измерении **твердости по Бринеллю** (ГОСТ 22761-77) стальной шарик вдавливают в испытуемый образец, измеряют диаметр полученного

отпечатка (рис.20,а) и определяют число твердости по Бринеллю:

$$HB = \frac{P}{F}, \text{ кгс/мм}^2,$$

где P – нагрузка, действующая на шаровой индентор; F – площадь поверхности полученного отпечатка.

На практике твердость определяют по специальным таблицам, исходя из диаметра отпечатка d .

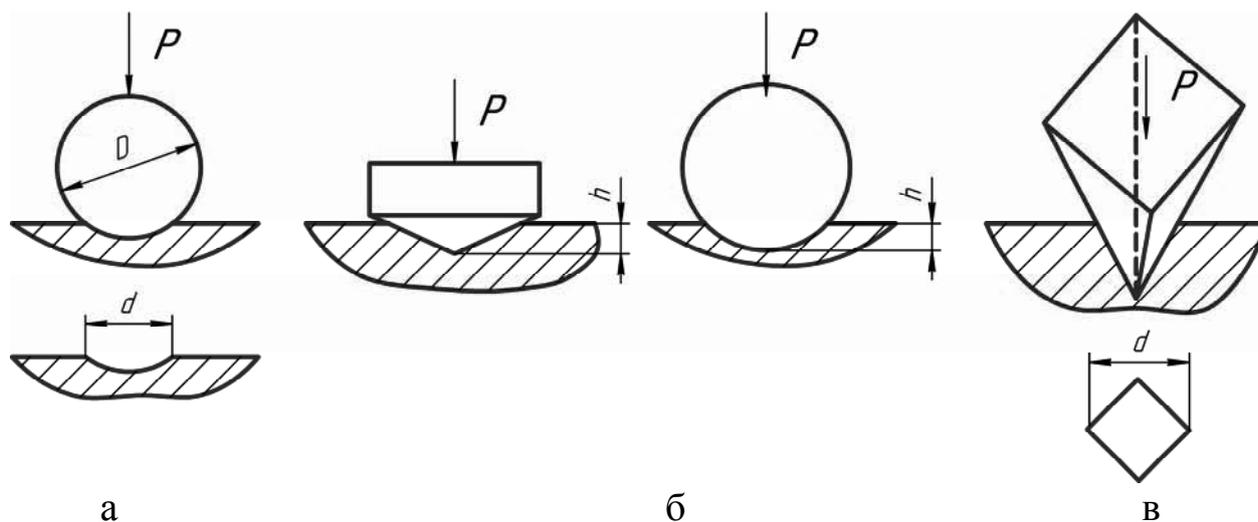


Рисунок 20 – Схемы определения твердости по Бринеллю (а), Роквеллу (б) и Виккерсу (в)

Для перевода твердости по Бринеллю в единицы СИ (МПа) необходимо умножить число твердости в кгс/мм² на 9,81.

Твердость по Бринеллю обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами HB, например 300 HB (при измерении стальным шариком диаметром 10 мм при усилии 3000 кгс и продолжительности выдержки от 10 до 15 с). При иных условиях нагружения твердость по Бринеллю обозначается 250 HB 5/750 (стальной шарик диаметром 5 мм, усилие 750 кгс).

Стальным шариком пользуются при твердости по Бринеллю не более 450 кгс/мм². Если материал обладает большей твердостью, то в качестве индентора используют шарик из твердого сплава и твердость обозначается HBW.

Зная твердость HB, можно для некоторых материалов по эмпирическим формулам установить примерные значения предела прочности, предела текучести, предела выносливости, ударной вязкости, относительного сужения.

$$\begin{aligned} \text{Для стали: } \sigma_b &= 0,34 \text{ HB}; \sigma_R = 0,0013 \text{ HB} + 4,64; \\ \sigma_{0,2} &= -176,63 + 1,251 \sigma_B - 0,001 \sigma_B^2; \end{aligned}$$

$$\psi = 101,55 - 0,392 \sigma_{\text{в}}.$$

Для медных сплавов $\sigma_{\text{в}} = 0,45 \text{ НВ}$.

Для алюминиевых сплавов $\sigma_{\text{в}} = 0,35 \text{ НВ}$.

При измерении **твердости по Роквеллу** (ГОСТ 9013-59) в образец вдавливают стальной шарик диаметром 1,5875 мм (1/16 дюйма) или наконечник с алмазным конусом (рис.20,б).

Число твердости по Роквеллу измеряют в условных единицах, оно является мерой глубины вдавливания индентора. Алмазный конус используется в качестве индентора для материалов с твердостью более 450 НВ. Измерение проводят по шкалам *C* и *A* (общая нагрузка *P* соответственно 150 кгс и 60 кгс, причем шкала *A* используется для определения твердости тонких поверхностных слоев высокой твердости). Стальной шарик применяется для материалов с твердостью менее 450 НВ. Измерение проводят по шкалам *B* и *F* (нагрузка *P* соответственно 100 кгс и 60 кгс, шкала *F* используется для очень тонких пластин и слоев деталей с низкой твердостью).

Твердость по Роквеллу обозначается соответственно HRC, HRA, HRB, HRF. Пример обозначения твердости по Роквеллу: 31 HRC, 90 HRB, 70 HRA.

При измерении **твердости по Виккерсу** (ГОСТ 2999-75) в поверхность образца вдавливают четырехгранную алмазную пирамиду (рис.20,в), нагрузка применяется от 1 до 100 кгс.

Твердость по Виккерсу определяют путем измерения длины диагоналей отпечатка пирамиды и пересчета по формуле:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2}, \text{ кгс/мм}^2,$$

где *d* – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей; *P* – нагрузка на индентор.

Если измерения проводятся при нагрузке 30 кгс и времени приложения нагрузки 10-15 с, то твердость по Виккерсу обозначается, например, 500 HV, при других условиях измерения указываются величина нагрузки и время ее приложения: 500 HV 10/40 (значение твердости 500 кгс/мм², нагрузка 10 кгс, время приложения 40 с).

Для оценки твердости очень малых объемов материалов (металлов, сплавов, стекол, пластмасс, керамики, полупроводниковых материалов): тонких листов, покрытий, пленок применяют метод определения **микротвердости** (ГОСТ 9450-76). Обычно для измерений используют алмазный наконечник с формой рабочей части в виде четырехгранной пирамиды с квадратным основанием при нагрузке 0,01 кгс, приложенной в течение 15 с. В этом случае микротвердость обозначается, например, 900 HV 0,01; при других условиях нагружения: 900 HV 0,1/30 (значение микротвердости 900 кгс/мм², нагрузка 0,1 кгс, время нагружения 30 с).

Для материалов с твердостью более 1000 HV особенно при малых нагрузках применяют алмазный наконечник с формой рабочей части в виде трехгранной пирамиды; в этом случае микротвердость обозначается, например, $600 H_V 0,005/5$ (нагрузка 0,005 кгс, время нагружения 5 с).

Микротвердость фольги, покрытий измеряют наконечником с формой рабочей части в виде ромба; в этом случае микротвердость обозначается, например, $800 H_\diamond 0,01/10$.

Разновидностью усталостного разрушения является *изнашивание* – разрушение и отделение материала с поверхности твердого тела или накопление остаточной деформации при трении, проявляющиеся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. *Износ* – это результат изнашивания, определяется в установленных (условных) единицах длины, объема, массы и др.

Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания, называют *износостойкостью*.

Механизм и величина износа зависят от многих факторов, в том числе: от внешних механических воздействий (величины нагрузки, скорости перемещения, температуры в зоне контакта и т.д.); от физико-химического действия среды; от свойств материалов пар трения.

В зависимости от совокупности этих факторов наблюдаются многочисленные виды изнашивания. По ГОСТ 27674-88 их классифицируют следующим образом:

- механическое изнашивание – изнашивание в результате механических воздействий;
- усталостное изнашивание – это механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя (может происходить как при трении качения, так и при трении скольжения); усталостный износ зубчатых колес, проявляющийся в виде выкрашивания отдельных участков металла, называют питтингом;
- кавитационное изнашивание – это механическое изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает высокое местное ударное давление или высокую температуру;
- коррозионно-механическое изнашивание – изнашивание в результате механического воздействия, сопровождаемого химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой, характерно для фрикционных муфт, подшипников скольжения;
- изнашивание при фреттинг-коррозии – коррозионно-механическое изнашивание соприкасающихся тел; при малых колебательных относительных перемещениях этот вид разрушения имеет место у посадочных

поверхностей корпусов, валов, втулок, подшипников качения, болтовых соединений;

- окислительное изнашивание – коррозионно-механическое изнашивание, при котором преобладает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей окружающей средой;

- абразивное изнашивание – механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия твердых тел или твердых частиц; характерно для многих деталей горных, буровых, дорожных машин, горного инструмента, рештаков скребковых конвейеров, зубьев звездочек и многих других деталей;

- гидроабразивное (газоабразивное) изнашивание – абразивное изнашивание в результате воздействия твердых тел или твердых частиц, увлекаемых потоком жидкости (газа); этот вид изнашивания характерен для деталей гидрооборудования (плунжерные пары и др.);

- гидроэрозионное (газоэрозионное) изнашивание – изнашивание поверхности в результате воздействия потока жидкости (газа);

- электроэрозионное изнашивание – эрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока;

- изнашивание при заедании – изнашивание в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность.

2 Технологические свойства

Технологические свойства материалов определяют возможность получения заготовок и деталей выбранными методами и способами при условии обеспечения минимума затрат на конечный продукт – минимальной трудоемкости, материалоемкости, а также обеспечения экологии и эргономики.

В зависимости от способа производства заготовок и деталей определяющими являются следующие свойства.

Литейные свойства – способность жидких материалов заполнять литейные формы и образовывать плотные отливки. Эти свойства характеризуются жидкотекучестью материала, его усадкой и ликвацией.

Жидкотекучесть – способность материалов заполнять полости литейной формы и точно воспроизводить очертания этой формы. Жидкотекучесть определяется в соответствии с ГОСТ 16438-70 по спиральной пробе. Материал заливается в форму, имеющую вид спирального прутка, и жидкотекучесть оценивается длиной в сантиметрах части канала, залитого сплавом.

Усадка – свойство материалов уменьшаться в линейных размерах и в объеме при охлаждении от температуры заливки до комнатной. С усадкой связано появление в отливках усадочных раковин, пористости, рыхлости, коробления, трещин.

Ликвация – это неоднородность химического состава сплава, возникающая при кристаллизации.

Деформируемость – способность материалов к значительным пластическим деформациям без разрушения и образования пороков.

Свариваемость – способность материалов образовывать сварное соединение, свойства которого близки к свойствам свариваемых материалов.

Обрабатываемость резанием характеризуется качеством обработки (шероховатостью обработанной поверхности и точностью размеров), стойкостью инструмента, сопротивлением резанию, видом стружкообразования.

Закаливаемость – способность стали повышать твердость в результате термической обработки (закалки).

Прокаливаемость – способность стали получать при термической обработке (закалке) закаленный слой с определенной структурой на ту или иную глубину.

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

По химическому составу сплавы железа с углеродом делятся на три вида: сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02 % углерода, – техническое железо; сплавы, содержащие до 2,14 % углерода, – сталь; содержащие более 2,14 % углерода, – чугун.

1 Классификация и маркировка сталей

Стали классифицируются по следующим признакам: способу получения, химическому составу, структуре, качеству, условиям раскисления, способу придания формы и размеров,

По способу получения различают стали: в жидком состоянии – мартеновскую кислую и основную, бессемеровскую, электросталь – кислую и основную, тигельную; в твердом состоянии – электролитическое железо.

По химическому составу стали бывают: углеродистые (низкоуглеродистые с содержанием углерода менее 0,25 %, среднеуглеродистые с содержанием углерода 0,25-0,60 %, высокоуглеродистые – свыше 0,60 %); легированные (низколегированные – легирующих элементов до 2,5 %, среднелегированные – 2,5-10 %, высоколегированные – свыше 10 %).

Углеродистые стали помимо углерода содержат так называемые нормальные примеси: кремний не более 0,3-0,4 %, магний не более 0,5-0,8 %, фосфор не более 0,05 %, серу не более 0,07 %, кислород в виде окислов не более 0,05 %.

Свойства углеродистой стали широко изменяются в зависимости от содержания углерода (рис.21). С увеличением в стали углерода растут

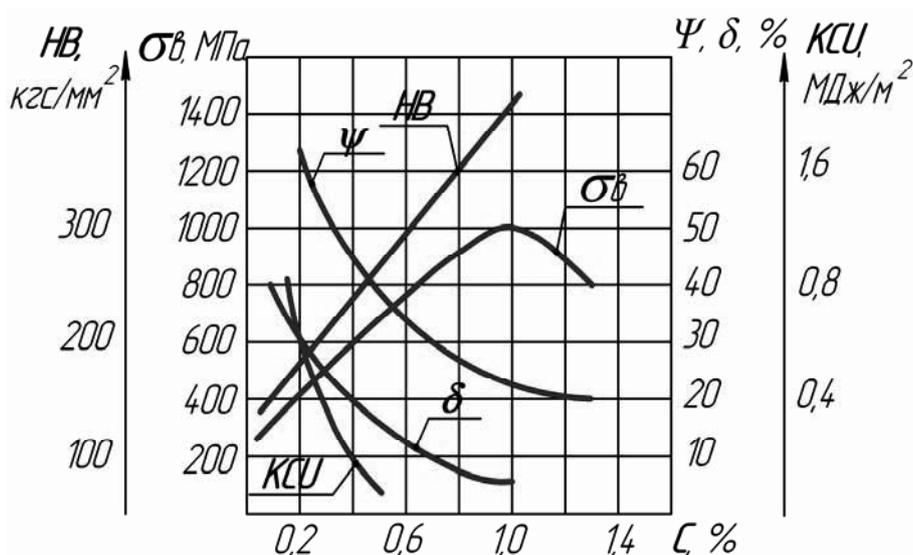


Рисунок 21 – Влияние содержания углерода на механические свойства стали

твердость, уменьшаются относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость. Предел прочности с повышением содержания углерода до 0,9 % возрастает, а при большем содержании углерода – снижается.

Легированными считаются стали, в которые при их производстве были введены специальные легирующие элементы (кремний, хром, титан, ванадий, ниобий, вольфрам, марганец, медь и так далее) с целью повышения прочностных характеристик. Их процентное содержание выше чем нормальных примесей в углеродистых сталях.

По качеству выпускаются стали: обыкновенного качества и качественные.

По условиям раскисления стали делятся на:

- спокойные – полностью раскисленные, содержащие минимальное количество закиси железа; не склонны к старению, имеют концентрированную усадочную раковину и хорошо свариваются; при маркировке обозначаются буквами «сп»;
- кипящие – неполностью раскисленные; имеют пониженное содержание кремния и повышенное количество закиси железа; хуже свариваются, имеют склонность к старению и становятся хрупкими при более высокой температуре, чем спокойные стали; преимущества кипящих сталей – малая стоимость и большая пластичность; при маркировке обозначаются буквами «кп»;
- полуспокойные – по свойствам занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими; при маркировке обозначаются буквами «пс».

По способу придания формы и размеров различают сталь: литую (стальное фасонное литье), ковкую (поковки свободнойковки и штамповки), катаную (прокат различного профиля: прутки, лента, лист, проволока и др.).

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-88) выплавляются в конверторных и мартеновских печах. Эти стали хорошо обрабатываются резанием, рубятся, опиливаются, куются, штампуются и являются наиболее дешевыми. Они применяются, как правило, без термической обработки и используются в качестве строительных материалов для конструкций, работающих при невысоких напряжениях,

Стали обыкновенного качества делятся на три группы:

- группа А – сталь, поставляемая с гарантированными механическими свойствами для использования в состоянии поставки; изготавливается следующих марок Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6; для обозначения полуспокойной стали с повышенным содержанием марганца к обозначению марки стали после номера ставят букву Г;
- группа Б – сталь, поставляемая с гарантированным химическим со-

ставом; могут подвергаться термической обработке; выпускаются следующих марок БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6;

- группа В – сталь повышенного качества, поставляемая одновременно с гарантированными механическими свойствами и химическим составом; применяется для ответственных строительных конструкций и изделий; поставляются следующих марок ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

Качественные стали выплавляются в основном в мартеновских печах. К ним предъявляются повышенные требования в отношении химического состава, количества неметаллических включений и вредных примесей (фосфора, серы и т.д.).

Качественные стали по применению делятся на три группы:

- конструкционные,
- инструментальные,
- особого назначения.

Конструкционные и инструментальные стали бывают углеродистыми и легированными.

Углеродистые конструкционные стали (ГОСТ 1050-88) хорошо обрабатываются режущим инструментом всех видов, куются и штампуются. Применяются преимущественно в термообработанном виде. Сталь с повышенным содержанием марганца (с буквой Г) обладает более высокой прочностью (на 10-15 %) и пониженным относительным удлинением (на 15-20%) по сравнению со сталью обычного состава.

Углеродистые конструкционные стали маркируются двумя цифрами, которые обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента. В обозначении углеродистых сталей, предназначенных для отливок, после цифр, соответствующих содержанию углерода, ставится буква Л – литейная, например Ст.25Л.

Применяются следующие марки углеродистых конструкционных сталей: 08, 10, 20, 25, 30, 40, 45, 50.

Для обозначения автоматных сталей (ГОСТ 1414-75) перед цифрами ставится буква А, например А20. Автоматная сталь используется главным образом для изготовления крепежных изделий на станках-автоматах.

Легированные конструкционные стали (ГОСТ 4543-71) обрабатываются режущим инструментом всех видов. Свариваемость сталей низкая. Они применяются преимущественно в термообработанном виде. Термическая обработка их определяется содержанием в них углерода.

Маркируются легированные стали следующим образом: первые две цифры обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента; буквы, расположенные справа, показывают наличие легирующего элемента в стали: процентное содержание легирующего элемента обозначается цифрой, стоящей за буквой (когда легирующего элемента меньше 1,5%,

цифры не ставятся). Легирующие элементы обозначаются следующими буквами: С – кремний, Х – хром, Т – титан, Ф – ванадий, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, Р – бор, Ц – цирконий, Ю – алюминий.

К инструментальным сталям относятся углеродистые и легированные стали, предназначенные для изготовления режущего, измерительного и штампового инструмента. Эти стали имеют повышенное содержание углерода (свыше 0,7 %), что придает им прочность и твердость.

Инструментальная углеродистая сталь (ГОСТ 1435-74) применяется для изготовления слесарного инструмента: зубил, бородков, обжимок, кернеров, шаберов, отверток, а также сверл, разверток, метчиков и другого режущего инструмента

Углеродистые инструментальные стали маркируются буквой У, после которой следует цифра, обозначающая содержание углерода в десятых долях процента. Например, У12 – углеродистая инструментальная сталь, содержащая 1,2 % углерода.

К *инструментальным легированным сталям* (ГОСТ 5950-73) относится большая группа сталей, содержащих хром и другие элементы. Эти стали используются для изготовления режущего и измерительного инструмента, пробойников, пуансонов, матриц и других деталей штампов.

К *сталям с особыми свойствами* относятся стали, для которых определяющими являются не механические, а физико-химические свойства, такие как магнитная проницаемость (магнитные стали), способность сопротивляться коррозии (нержавеющие стали), электропроводность (проводниковые материалы).

2 Сортовой прокат стали

Полуфабрикатные металлические изделия (металл как металл) выпускаются в виде сортового проката. По методу производства сортовой прокат подразделяется на горячекатаную сталь, кованную, калиброванную и серебрянку. Кованную, калиброванную и серебрянку получают из горячекатаной посредством дополнительной обработки. В отличие от горячекатаной они имеют более точные размеры по сечению.

Горячекатаная сталь поставляется следующих видов:

Круглая (ГОСТ 2590-88) диаметром 5-250 мм высокой точности прокатки (А), повышенной (Б) и обычной (В). Сталь диаметром до 9 мм поставляется в мотках, большего диаметра – в прутках длиной от 1,5 10 м.

Пример обозначения:

В-20 ГОСТ 2590-88
Круг _____ .

Ст 3 ГОСТ 380-88

Квадратная (ГОСТ 2591-88) со стороной квадрата 5-200 мм трех групп точности (А, Б и В); поставляется в прутках той же длины, что и круглая.

Пример обозначения:

В-50 ГОСТ 2591-88
Квадрат ————— .
20 ГОСТ 1050-88

Шестигранная (ГОСТ 8560-78) с размером «под ключ» 8-100 мм двух групп точности – повышенной (Б) и обычной (В) длиной 2-10 м.

Пример обозначения:

В-22 ГОСТ 8560-78
Шестигранник ————— .
15 ГОСТ 1050-88

Полосовая (ГОСТ 103-76) повышенной (А) и обычной (Б) точности длиной 2-10 м.

Пример обозначения:

Б-10×70 ГОСТ 103-76
Полоса ————— .
Ст 3 ГОСТ 380-88

Угловая (для равнополочного уголка ГОСТ 8509-72, неравнополочного ГОСТ 8510-72) высокой точности (А) и обычной (Б).

Пример обозначения:

Б-50×50×3 ГОСТ 8509-72
Уголок ————— .
Ст 4 ГОСТ 380-88

Применяющиеся в буровом деле стали приведены в табл.11.

Таблица 11 – Стали, применяемые в бурении

Инструмент	Сталь
Корпус коронок	Углеродистая конструкционная сталь марки 20, 30 по ГОСТ 1050-88
Бурильные трубы СБТН, СБТМ	Углеродистая конструкционная сталь марки 45 по ГОСТ 1050-88, легированная конструкционная сталь 36Г2С по ГОСТ 4543-71
Ниппельные и замковые соединения для труб СБТН, СБТМ	Легированная конструкционная сталь 40ХН по ГОСТ 4543-71
Муфты для буровых труб СБТМ, ЛБТМ; утяжеленные	Легированная конструкционная сталь 36Г2С по ГОСТ 4543-71

бурильные трубы; бурильные трубы для КССК	
Бурильные трубы для ССК	Легированная конструкционная сталь 38ХНМ по ГОСТ 4543-71

3 Чугун

Чугун разделяется на нелегированный и легированный, содержащий хром, никель. Условное обозначение отливок из чугуна различных марок:

- серый чугун – отливка СЧ 20 ГОСТ 1412-85,
- ковкий чугун – отливка КЧ 35-10 ГОСТ 1215-79,
- высокопрочный чугун – отливка ВЧ 42-12 ГОСТ 7993-85,
- антифрикционный чугун – отливка АЧС-3 ГОСТ 1585-85.

Серый чугун обладает хорошими литейными свойствами, средней прочностью. В марке отливки из чугуна две буквы означают вид чугуна (серый чугун), двузначное число характеризует предел прочности на растяжение. Примерное назначение серого чугуна приведено в табл.12.

Таблица 12 - Отливки из серого чугуна (ГОСТ 1412-85)

Марка	Примерное назначение
СЧ10	Тонкостенные отливки твердые или средней твердости: блоки, барабаны, корпуса подшипников, подставки, стойки и др.
СЧ15	Отливки средней твердости: зубчатые колеса, червячные колеса, ролики
СЧ18	Кожухи, корпуса, крышки, подшипники, втулки
СЧ20	Массивные отливки: крупные червячные и зубчатые колеса, картеры, станины, детали топок и печей, работающие при температуре 850-930
СЧ25	Особо ответственные отливки, арматура, детали аппаратов и машин
СЧ30	Отливки особо сложной конфигурации с резкими переходами в сечениях при минимальной толщине сечений 8-6 мм, поршневые кольца, клапаны, муфты, кулачки
СЧ35	Отливки простой конструкции с незначительным переходом в сечениях, не толще 20 мм
СЧ40	Корпуса насосов, крупные коленчатые валы, катки, звездочки, колеса подъемных кранов
СЧ45	Отливки сложной конфигурации: разностенные с минимальной толщиной сечения 10 мм, барабаны, цилиндры, крышки, зубчатые колеса, поршневые кольца машин, коленчатые валы

Ковкий чугун получают термической обработкой белых чугунов. Изделия из этого чугуна широко распространены в буровом машиностроении. В обозначении марки отливки из ковкого чугуна входят буквы КЧ (ковкий чугун) и числа, указывающие: первое число – временное сопротивление разрыву, второе – относительное удлинение в процентах.

В табл.13 приведены широко применяемые в производстве марки ковкого чугуна.

Таблица 13 - Отливки из ковкого чугуна (ГОСТ 1215-79)

Марка	Назначение
КЧ 37-12	Части арматуры, соединительные части труб, рычаги, рукоятки, пластинчатые цепи, шкивы, колодки муфт, кулачки, гайки-барашки, контргайки
КЧ 35-10	
КЧ 33-8	
КЧ 30-6	

4 Цветные металлы

Из сплавов цветных металлов в буровом машиностроении широко применяют: бронзу, медь, латунь и легкие сплавы на алюминиевой основе. Бронзы подразделяются на оловянистые и безоловянистые и изготавливают по ГОСТ 614-73, ГОСТ 5017-74 и др. и применяют для изготовления червячных колес, вкладышей подшипников, втулок, арматуры и др.

Из латуни (двойные и многокомпонентные медные сплавы с основным легирующим элементом цинком) изготавливают листы, прутки, ленту, проволоку.

Сплавы алюминия с медью, кремнием, магнием, цинком и другими элементами называют алюминиевыми сплавами. В зависимости от химического состава сплавы алюминиевые литейные изготавливают по ГОСТ 2685-75, обрабатываемые давлением по ГОСТ 17232-79, предназначенные дляковки, штамповки и проката изготавливают по ГОСТ 4784-74.

Алюминиевые сплавы применяют для деталей сложной конфигурации, имеющих ответственное назначение, например, картеров двигателей, поршней, изделий, работающих при повышенных температурах и др.

Примеры условного обозначения марок цветных металлов и их сплавов приведены в табл.14.

Таблица 14 – Условное обозначение марок цветных металлов и их сплавов

Наименование	Обозначение
Медь (ГОСТ 859-8)	М и цифра, указывающие марку Пример: М2 ГОСТ 859-78.
Латунь (ГОСТ 17711-80, ГОСТ 15527-70)	Л и двухзначная цифра, указывающая содержание меди в процентах (Л96, Л90, Л85, Л70 и др.). Пример: Л59 ГОСТ 17711-80, Л85 ГОСТ 15527-70.
Бронза (ГОСТ 614-73, ГОСТ 5017-74 и др.)	БР и одной или несколькими буквам указывающими на основные элементы, входящие в состав сплава, и цифрами, показывающими их среднее содержание в %. Пример: БрОЦС4-4-4 ГОСТ 5017-74 – оловянная бронза с содержанием олова 4%, цинка 4%, свинца 4%.
Алюминий (ГОСТ 11069-74)	А или АВ и цифрами, указывающими номер марки. Пример: А2 ГОСТ 11069-74.
Алюминиевые сплавы (ГОСТ 17232-79, ГОСТ 2685-75, ГОСТ 4784-74)	АЛ (литейные сплавы на основе алюминий-магний, алюминий-кремний, алюминий-медь). Пример: АЛ9 ГОСТ 2685-75. АВ, АД; АМг, АМц; Д, ВД (обрабатываемые давлением) и цифрами, указывающими порядковый номер сплава. Пример: АМг9 ГОСТ 17232-79 АК (предназначены дляковки) АК2 ГОСТ 4784-74.

5 Термическая обработка стали

Предварительная термическая обработка

Термическая обработка *заготовок* получила название **предварительной термической обработки**. Однако достаточно часто, если полученные прочностные характеристики в результате предварительной термической обработки соответствуют требованиям условий эксплуатации, эта обработка является и окончательной.

Цель предварительной термической обработки – устранить дефекты предыдущих операций (литья,ковки); подготовить структуру и свойства к последующим технологическим операциям – обработке резанием, пластическому деформированию, окончательной термообработке.

Основные виды предварительной термической обработки:

- **Отжиг**

При *отжиге* сталь нагревается до 760-900 °С в зависимости от марки, затем выдерживается при этой температуре и медленно охлаждается, в большинстве случаев, вместе с печью. Температура охлаждения находит-

ся в пределах 150-200 °/час для углеродистой стали и 30-100 °/час для легированной стали. Отжигом понижают твердость и повышают пластичность и вязкость металла, снимаются внутренние напряжения.

Существует несколько разновидностей отжига: полный отжиг (для стали с содержанием углерода до 0,8 %, охлаждение вместе с печью), неполный (для стали с содержанием углерода более 0,8 %, до определенной температуры сталь охлаждается вместе с печью, далее на воздухе), диффузионный отжиг (с целью устранения химической неоднородности, нагрев до 1100-1200 °С, затем охлаждение вместе с печью до 800 °С, после чего на воздухе) и др.

- **Нормализация**

Нормализация заключается в нагреве изделия, выдержке и охлаждении на спокойном воздухе. Из-за более высокой по сравнению с отжигом скорости охлаждения получается мелкозернистая структура стали повышается прочность и пластичность материала, а также устраняются напряжения, возникающие при различных видах обработки, сварке и литье.

- **Нормализация с высоким отпуском**

Проводится для высоколегированных сталей, которые после выполнения нормализации становятся хрупкими и их последующая механическая обработка будет предельно затруднена. Состоит в том, что после выполнения нормализации заготовка подвергается высокому отпуску.

Высоким отпуском называется нагрев материала до 500-600°С и выдержка при этой температуре для прогрева всего объема изделия или заготовки. Снижается хрупкость, значительно повышается вязкость с сохранением высоких пределов прочности и текучести материала.

Окончательная термическая обработка

Термическая обработка *деталей* – это обработка, формирующая их окончательные свойства, т.е. **окончательная термообработка**. Ее цель – обеспечение требуемой конструктивной прочности.

Основные виды окончательной термической обработки:

- **Закалка и высокий отпуск**

При закалке сталь нагревается до определенной температуры, выдерживается до полного прогрева и быстро охлаждается в одной из специальных сред (табл.15). Наиболее распространенными закалочными средами являются вода и масло.

Закалка применяется в случаях, когда требуются высокие твердость и прочность. Чем больше углерода содержится в стали, тем она лучше закаливается, при этом пластичность металла снижается. Нелегированные стали с содержанием углерода меньше 0,25% практически не закаливаются.

Таблица 15 – Характеристики закалочных сред

Закалочная среда	Скорость охлаждения, ° С/с, при температуре °С	
	650-550	300-200
Вода при температуре: 18 ⁰ С 55 ⁰ С 74 ⁰ С	600 100 30	270 270 200
10 % -ный водный рас- твор поваренной соли при 18 ⁰ С	1100	300
Минеральное индустри- альное масло	150	30
Эмульсия	70	200
1 % -ный водный раствор полимера ПК-2	60	25
Спокойный воздух	3	1

При необходимости получения высокой твердости поверхностного слоя с сохранением вязкой сердцевины применяется поверхностная закалка. В этом случае нагревается до закалочной температуры только поверхностный слой детали, а затем сталь быстро охлаждается. Поверхность детали при этом нагревается токами высокой частоты или ацетиленово-кислородным пламенем.

• **Закалка и низкий отпуск**

Низкий отпуск проводят при нагреве закаленной стали до 25⁰С. Снимает напряжения без снижения твердости, однако сопротивление ударным нагрузкам остается низким. Применяется для режущего и измерительного инструмента.

• **Закалка и средний отпуск**

Средний отпуск проводится при температуре 350-500⁰С для получения высокого предела упругости. Подвергаются детали, работающие при циклическом нагружении.

6 Химико-термическая обработка деталей

Для получения на поверхности деталей свойств, отличающихся от свойств сердцевины, применяют химико-термическую обработку деталей. Наиболее распространены следующие виды химико-термической обработки: цементация, азотирование и цианирование.

Цементация заключается в насыщении поверхностного слоя детали

углеродом для повышения его прочности и твердости при сохранении вязкой сердцевины детали. Цементации подвергают низкозернистые стали с содержанием углерода 0,1-0,3 %. Цементация может осуществляться с применением порошков (карбюризаторов), а также в газовой или жидкой средах.

При порошковой цементации деталь помещают в ящик и засыпают карбюризатором. Ящик обмазывают глиной и нагревают в печи до 920-960 °С. Под влиянием высокой температуры порошок разлагается, и поверхностный слой металла насыщается углеродом на глубину 0,8-1,5 мм (и более) в зависимости от времени выдержки и температуры. Продолжительность цементации составляет 8-15 ч.

Состав карбюризаторов: углекислый барий – 20-25%, углекислый кальций – 3,5%, древесный уголь – остальное.

При газовой цементации деталь нагревается в среде газов, содержащих углерод. По сравнению с твердой цементацией газовая происходит быстрее и при этом улучшается регулирование самого процесса. Цементация в жидких средах производится сравнительно редко. После цементации детали подвергают закалке и низкому отпуску.

Азотирование состоит в насыщении поверхностного слоя деталей азотом, придающим твердость наружной поверхности. Этому виду обработки в основном подвергаются детали из легированных сталей. Азотированный слой обладает высокой износоустойчивостью и хорошо сопротивляется коррозии. Детали азотируются в среде аммиака при температуре 500-600 °С. Глубина слоя обычно достигает нескольких десятых долей миллиметра. Перед азотированием проводится термическая обработка деталей заключающаяся в улучшении или нормализации.

При **цианировании** происходит одновременное насыщение поверхности изделия углеродом и азотом. Цианирование может проводиться в жидкой, газовой и твердой средах. Этому виду обработки подвергаются детали, изготовленные в основном из низко- и среднеуглеродистых сталей. Цианирование в жидкой среде производится в расплавленных солях, содержащих циан, а газовое Цианирование осуществляется в газовой смеси, состоящей из цементующего газа с добавлением 20-30% аммиака. Газовое цианирование более производительное, чем газовая цементация.

В зависимости от температуры процесса различают среднетемпературное цианирование (750-860°С), при котором глубина слоя достигает 0,4 мм, и высокотемпературное (900-960°С). После цианирования детали подвергаются закалке с последующим низким отпуском.

ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ И ИХ СВОЙСТВА. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОРОНОК

1 Спеченные твердые сплавы

Породоразрушающий инструмент, армированный твердыми сплавами, применяют при бурении практически всех горных пород. В геологоразведочном бурении твердым сплавом армируют коронки, предназначенные для вращательного, вращательно-ударного бурения и бурения с гидротранспортом керна в породах мягких и средней твердости I-VIII категорий по буримости, коронки для ударно-вращательного бурения в породах средней и высокой крепости V-XII категории по буримости, лопатные долота для вращательного бурения в породах I-V категорий с прослойками пород VII-VIII категорий, а также шарошечные и фрезерные долота всех типов для бурения пород от I до XII категорий по буримости.

Для армирования используют в основном спеченные *вольфрамокобальтовые твердые сплавы марки ВК*, которые имеют большую твердость (84-91 HRA), сочетающуюся с высоким сопротивлением износу при нагреве до 1000°C. Сплавы не подвергаются заметной пластической деформации при низких температурах, имеют большую прочность на сжатие, почти не подвержены упругой деформации. Недостатки их – малый предел прочности на изгиб и растяжение, а также небольшая ударная вязкость.

Спеченные твердые сплавы состоят из карбида вольфрама WC и кобальта Co в различных процентных отношениях. Карбид вольфрама придает сплаву высокую твердость и износостойкость. Он не магнитен, имеет высокую теплопроводность, весьма хрупок. Кобальт – ковкий и вязкий металл, в расплавленном состоянии он хорошо смачивает зерна карбида вольфрама и при затверждении прочно связывает их.

Спеченный сплав *изготавливают* из порошковой смеси карбида вольфрама и кобальта путем прессовки ее в специальных графитовых пресс-формах и спекания при температуре ниже температуры плавления карбидов в соответствии с требованиями.

Цифры в марке сплава соответствуют процентному содержанию кобальта, в зависимости от которого сплавы условно разделяются на три группы: малокобальтовые (3-8%), среднекобальтовые (10-15%) и высококобальтовые (20-25%). По структуре сплавы делятся на мелко-, средне- и крупнозернистые. Мелкозернистые сплавы с размером зерен 1 мкм имеют индекс «М», крупнозернистые с размером зерен до 3-5 мкм – индекс «В», среднезернистые с размером зерен 1-2 мкм не имеют индекса.

Твердость сплава возрастает с увеличением содержания карбида вольфрама и уменьшением размеров его зерен. Предел прочности при изгибе повышается с увеличением содержания кобальта и размера зерен вольфрама. При увеличении содержания кобальта возрастает сопротивление сплава сжатию, максимум достигается при 6% Со, затем плавно снижается. Мелкозернистые сплавы обладают более высокой прочностью на сжатие, чем крупнозернистые. Ударная вязкость сплава растет с повышением содержания кобальта и увеличением зернистости. При нагреве сплава в процессе работы уменьшаются его твердость, предел прочности на изгиб и сжатие. Экспериментальные исследования показали, что в интервале температур 20-200°С прочность твердого сплава на изгиб несколько растет, а с увеличением температуры до 900-1000 °С – интенсивно падает, уменьшаясь в 2-2,5 раза.

Плотность твердых сплавов уменьшается с увеличением содержания кобальта, причем плотность мелкозернистых сплавов выше, чем крупнозернистых. Твердый сплав обладает высокой теплопроводностью, что способствует быстрому отводу тепла от режущих кромок и уменьшению их износа.

С учетом основных физико-механических свойств (табл.16) среднезернистые и крупнозернистые малокобальтовые сплавы применяют для армирования инструмента, работающего в условиях безударных нагрузок или при малой их интенсивности. В частности, ими армируют коронки для вращательного и вращательно-ударного бурения и шарошечные долота, работающие в породах средней твердости. Средне- и высококобальтовые сплавы используют для армирования инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок, в частности, для коронок ударно-вращательного бурения с применением гидро- и пневмоударных машин и шарошечных долот, предназначенных для бурения пород высокой твердости. Эти сплавы обладают наибольшей прочностью, но они менее износостойки.

Таблица 16 – Характеристика спеченных твердых сплавов

Марка сплава	Физико-механические свойства		
	Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	Плотность, г/см ³	Твердость НРА, не менее
ВК4	1400	14,9-15,3	89
ВК6	1500	14,6-15,0	88
ВК8	1600	14,4-14,8	87
ВК11	1800	14,0-14,4	86

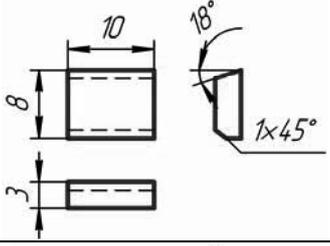
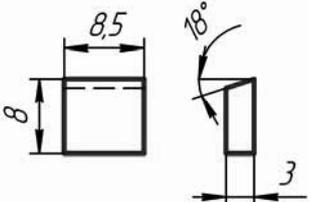
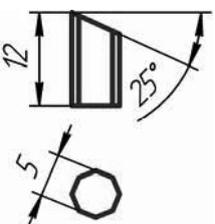
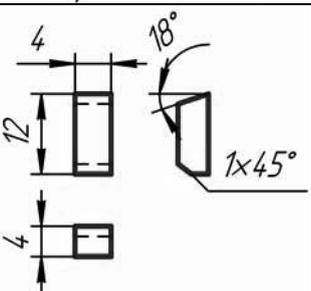
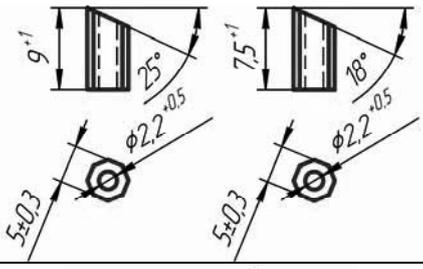
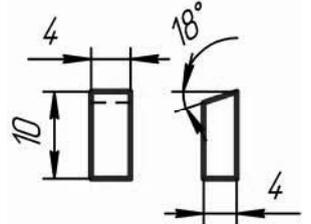
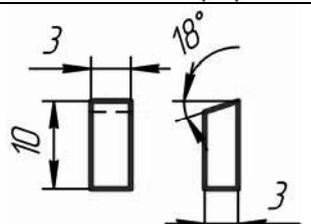
ВК15	1800	13,9-14,1	86
ВК20	1950	13.4-13,7	84
ВК25	2000	12,9-13,2	82

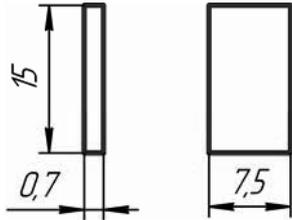
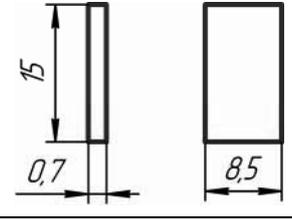
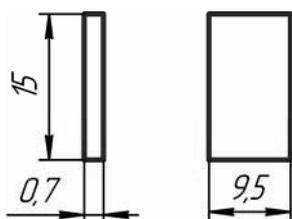
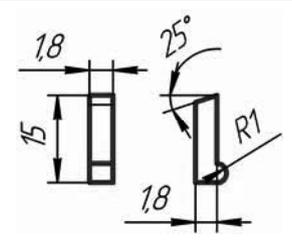
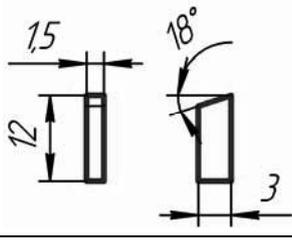
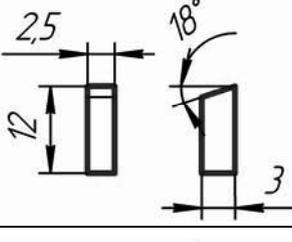
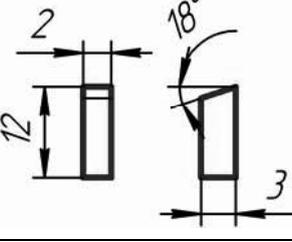
Ниже приведены **области применения** спеченных твердых сплавов в бурении, рекомендуемые ГОСТ 3882-74:

Вращательное бурение эксплуатационных и геологоразведочных скважин, взрывных шпуров в монолитных и абразивных горных породах с коэффициентом крепости по Протодьяконову $f = 8$	ВК6
Ударно-поворотное бурение шпуров в горных породах, крепких каменных углях с $f = 8$	ВК6-В
Бурение электро- и пневмосверлами углей, антрацитов, сланцев, калийных и каменных солей; бурение ручными и колонковыми электросверлами горных пород с $f = 8$; бурение шарошечными долотами	ВК4-В
Вращательное бурение скважин и взрывных шпуров в трещиноватых абразивных породах с $f = 8$	ВК8
Шарошечное бурение взрывных скважин в крепких и очень крепких абразивных породах с $f = 18$	ВК8-ВК
Ударно-поворотное и ударно-вращательное бурение шпуров и скважин в крепких горных породах с $f \leq 14$; шарошечное бурение скважин и шпуров в вязких, средней твердости и твердых абразивных горных породах с $f \leq 10$	ВК11-ВК
Ударно-поворотное и ударно-вращательное бурение шпуров и скважин в очень крепких и абразивных горных породах с $f \leq 18$	ВК11-В
Ударно-поворотное, ударно-вращательное бурение шпуров и скважин в высшей степени крепких горных породах с $f \leq 20$	ВК15
То же, при ударной нагрузке средней интенсивности	ВК20
То же, при ударной нагрузке высокой интенсивности	ВК25

Формы спеченного твердого сплава для армирования коронок при вращательном бурении приведены в табл.17.

Таблица 17 – Твердосплавные резцы для армирования коронок

Тип резцов	ГОСТ или ТУ	Форма и геометрические размеры резцов	Марка сплава	Масса, г	Тип коронок
0203А	2209-82		ВК8	3,22	М1
Г5103	880-75		ВК8	2,8	М1 (Ø93 мм)
Г5303	880-75		ВК8	2,3	М2
1323	17163-82		ВК8	2,58	М5
247/3	ТУ 48-19-165-75		ВК8	2,3	М5, СМ3
Г5107	880-75		ВК6	2,2	СТ2, СМ4
Г5108	880-75		ВК6	1,0	СТ2, СМ5, СМ3, СМ6, СА4

Г4104	880-75		БК6	1,1	CA1 (Ø 36, 46, 59 мм)
Г4105	880-75		БК6	1,2	CA1 (Ø 76 мм)
Г4106	880-75		БК6	1,4	CA1 (Ø 93, 112, 132 мм)
Г62	ТУ 48- 19-183- 76		БК6	0,73	CA2, CA5, CA6
Г5106	880-75		БК6	0,8	CA2, CA5, CA6
Г5109	880-75		БК6	1,4	CA4
Г5110	880-75		БК6	1,0	CA4

2 Наплавочные твердые сплавы

Наплавочные твердые сплавы используют для повышения износостойкости лопастных долот, шарошечных долот типов М, С, предназначенных для бурения мягких пород и пород средней твердости до VII категории по буримости, специальных коронок для вращательного бурения и башмаков обсадных труб. Существенное преимущество наплавочных твердых сплавов – возможность многократного восстановления породоразрушающего инструмента непосредственно в условиях эксплуатации; недостаток – небольшие твердость и износостойкость.

Наплавочные твердые сплавы делятся на *литые, зернистые и трубчато-зернистые*. Они наносятся на поверхность инструмента газопламенной или электродуговой наплавкой. Литые сплавы; представляют собой многокомпонентные металлические системы на основе железа (сормайт), кобальта (стеллит), никеля (колмоной) или вольфрама (релит), содержащие в составе элементы, которые при затвердении наплава образуют карбиды, бориты и другие твердые соединения. Сплавы изготавливают в виде литых прутков диаметром 3-6 мм и более, длиной 300-400 мм или в виде гранулированных порошков сфероподобной формы с размером частиц 0,02-1,4 мм.

Наиболее распространенный сплав – релит. Трубчато-зернистый сплав релит (ТЗ) представляет собой: измельченный карбид вольфрама, набитый в трубку из стали марки Ст1 или Ст2. В общей массе трубки зерна карбида вольфрама составляют 60-80%. Этот сплав иногда применяют и без набивания в трубки. Измельченный литой карбид вольфрама имеет плотность 1640-1670 кг/м³.

Сплавы релит 3 и ТЗ выпускают по ТУ 48-42-34-70. Они применяются в основном для армирования зубьев шарошечных и лопастных долот. Зернистый карбид вольфрама, из которого состоят эти сплавы, должен отвечать следующему химическому составу: 95,5-96% W; 3,7-4% С; 0,06% свободного углерода и 0,02% примесей (Na, Ca, Si, Fe и др.). Микротвердость должна быть в пределах 20 000-24 000 МПа.

3 Технология изготовления твердосплавных коронок

Для изготовления короночных колец используются стальные бесшовные горячекатаные трубы по ГОСТ 8732-78.

Размеры труб, используемые для изготовления коронок различных

диаметров, приведены ниже:

Номинальный диаметр коронок, мм	76	93	112	132	151
Наружный диаметр труб и предельные отклонения,	$73\pm 0,7$	$89\pm 0,9$	108 ± 1	$127\pm 1,2$	$146\pm 1,46$

Все трубы имеют толщину стенки 7 мм с отклонением $+0,27$ и $-1,05$ мм.

Технологический процесс механической обработки короночных колец включает следующие операции.

Отрезка заготовки от трубы.

Прошивка отверстий в короночных кольцах на прессе пуансоном для получения требуемого размера по наружному и внутреннему диаметрам и формирование внутреннего конуса под кернорвательное кольцо.

Прошивка отверстий является нежелательной операцией, так как приводит к возникновению в заготовке внутренних напряжений, которые в дальнейшем при пайке коронок могут быть причиной их деформаций. В некоторых случаях при прошивке отверстий происходят разрывы. Поэтому желательно введение в технологический процесс дополнительной операции – отжига заготовок в печах.

Промывка и просушка заготовок. После прошивки заготовки промывают горячим раствором кальцинированной соды (0,5%) и триэтаноламина (1%), чтобы удалить используемую графитовую эмульсию.

Обточка коронки по наружному диаметру, подрезка торца, проточка выточки и нарезка резьбы.

Прошивка шламовых пазов. При прошивке шламовых пазов используется матрица с отверстием по диаметру корпуса коронки. Внутри устанавливают резцы по числу шламовых пазов в коронке. Резцы выступают внутрь приспособления на глубину 1,5 мм. Корпус коронки устанавливают резбовым уступом на резцы и проталкивают внутрь отверстия с помощью прессы. При этом часть металла корпуса срезается, в результате чего образуются шламовые пазы.

Вырубка или фрезеровка промывочных каналов.

Фрезеровка, штамповка или сверление пазов под режущие элементы. Пазы под режущие элементы в большинстве случаев получаются при фрезеровании или сверлении пазов и отверстий на рабочем торце корпуса коронки. Однако в самозатачивающихся коронках, где зубки

формируются при штамповке, фрезерование применяется только для зачистки поверхности, прилегающей к опорной пластине, так как при штамповке эта поверхность деформируется.

В настоящее время почти повсеместно при изготовлении резцовых коронок твердосплавные пластины задавливаются на специальных прессах в предварительно просверленные в торце корпуса отверстия. Такой способ позволяет механизировать процесс сборки коронок и обеспечивает более точное соблюдение их геометрических параметров.

Маркировка коронок. Заключительной операцией после механической обработки корпуса является маркировка. На наружной поверхности прессом наносят товарный знак завода-изготовителя и условное обозначение коронки.

Подготовка коронки к пайке является одной из ответственных операций. Она заключается в очистке от окисной пленки в местах последующей пайки корпуса и пластин, а также в обезжиривании этих поверхностей.

Наиболее сложной в данном случае является очистка от окисной пленки поверхностей твердосплавных пластин. Химическим способом разрушения эта пленка не поддается, что вызывает необходимость подвергать резцы механической обработке. Наиболее распространенным способом очистки пластин является голтовка. При голтовке твердосплавные пластины загружают во вращающийся барабан, выполненный в виде восьмигранника. Кроме твердосплавных пластин в барабан загружают смесь из 50% речного песка, 25% опилок и абразивной крошки. Барабан закрывается и приводится во вращение в течение 20-24 ч. Частота вращения барабана должна составлять 50 об/мин.

В результате такой операции окисная пленка снимается, а заусеницы на гранях пластин ошлифовываются. В таком подготовительном виде пластины подаются на армирование. После армирования коронки целиком подвергаются обезжириванию в ваннах с жидкостями следующего состава:

I ванна – 20%-ный раствор каустической соды ; температура 80-100° С; время выдержки – 15 мин; назначение ванны – обезжиривание;

II ванна – чистая проточная вода; температура 80-90° С; время выдержки 8-10 мин; назначение – промывка деталей;

III ванна – 10%-ный раствор буры; температура 80-100° С; время выдержки 15 мин; назначение – удаление остатков загрязнений и масел;

IV ванна – 30%-ный раствор буры; температура 80-100° С; время выдержки 10-15 мин; назначение – удаление остатков загрязнений и масел.

В настоящее время разработан новый метод подготовки пластин твердого сплава к дальнейшему использованию. Этот метод заключается в

виброобработке изделий из твердого сплава в абразивной среде и в среде шаров из твердого сплава. При обработке в вибромашинах твердосплавные пластины очищаются от окисной пленки и снимаются заусеницы. Процесс виброабразивной обработки более активен, поэтому необходимый эффект достигается через 40-60 мин вместо 20-24 ч при голтовке.

Сборка коронок определяется их конструктивными особенностями. Резцовые коронки собирают на прессах с задавливанием пластин твердого сплава в предварительно просверленные отверстия.

При вдавливании происходят срез тонкой стенки и смещение ее в отверстие вместе с пластиной. Нижняя плоскость пуансона — штампа имеет выступы, которые, врезаясь в корпус коронки, выдавливают часть металла, и резцы зачеканиваются в образующемся при вдавливании пазу. Ход штампа предварительно регулируется, в результате чего обеспечивает нужный выступ резцов относительно наружной и внутренней поверхности корпуса. Вылет резцов относительно торца ограничивается пазом на нижней плоскости пуансона, в который укладывается перед запрессовкой резец.

Аналогичным путем закрепляются дополнительные подрезные резцы. Коронки СА4 более сложны и собираются, как правило, вручную в заранее профрезерованные пазы. Подрезные и дополнительные подрезные резцы закрепляются на прессе так же, как в резцовых коронках.

Тонкопластинчатые и микрорезцовые коронки собирают в два этапа. На первом этапе собирают пакеты и закрепляют в них твердосплавные пластины. В дальнейшем эти пакеты устанавливают в коронках и в специальных штампах закрепляют в корпусе.

Пайка коронок производится в тиглях с расплавленным припоем. Используются припои на медной основе, выпускаемые по ГОСТ 15527-70. Латунь представляет собой сплавы, содержащие медь и цинк. Состав латуни марки Л68 приведен в табл.18.

Метод пайки в тиглях является наиболее производительным, однако имеет ряд недостатков. К их числу относятся: затруднительность контроля температуры пайки и времени выдержки, изменение состава и свойств припоя при выгорании цинка и необходимость при этом повышения температуры нагрева тигля.

Таблица 18 – Характеристика припоя Л68

Марка латуни	Содержание элементов, %		Температура полного расплавления, °С
	Cu	Zn	
Л68	67-70	30-33	938

Более совершенной является пайка в конвейерных печах в среде эндогаза. Однако в этом случае необходима более точная подгонка всех деталей для обеспечения капиллярных зазоров, так как при более толстых швах из них вытекает припой, что снижает качество закрепления резцов и вставок в пазах.

Кроме того, при этом способе пайки исключаются наплывы припоя по торцу коронок, которые необходимы для повышения прочности отдельных резцов. В то же время этот вид пайки улучшает товарный вид коронок и лучше поддается контролю.

Контроль и испытание. После пайки коронки подвергаются контролю над параметрами, предусмотренными соответствующими ГОСТами, и испытаниям, при которых осматривают шов и выдавливают из пазов отдельные резцы и режущие вставки. На заводах организован неразрушающий контроль. При этом, если резцы или вставки не выдавливаются при приложении необходимой нагрузки, коронка принимается. В противном случае она бракуется.

Консервация коронок должна обеспечить сохранность их от коррозии в течение не менее 6 месяцев. Коронки упаковывают в ящики. Масса ящиков брутто не более 80 кг.

АЛМАЗНОЕ СЫРЬЕ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ АЛМАЗНЫХ КОРОНОК

1 Форма и строение алмазов

Алмаз – минерал, встречающийся в природе в виде отдельных хорошо выраженных кристаллов, их обломков или сростков различных кристаллических форм. Чаще всего величина кристаллов алмазов колеблется от 0,4 до 4-6 мм, однако иногда встречаются более крупные кристаллы размером до нескольких сантиметров. За единицу массы алмазов принят метрический карат, равный 0,2 г.

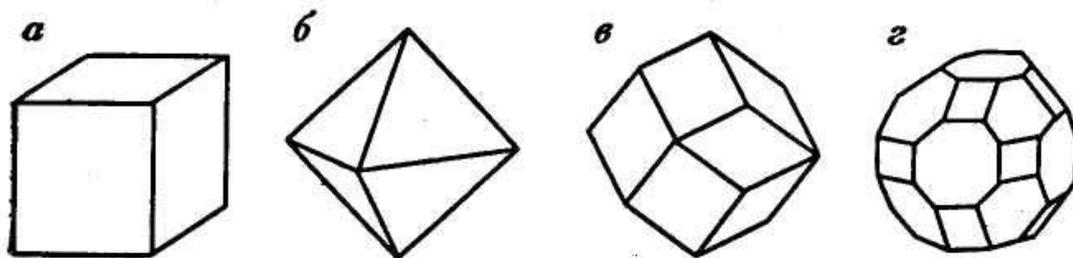


Рисунок 22 – Основные кристаллографические формы алмаза

Алмаз кристаллизуется в кубической сингонии. В его кристаллической решетке атомы углерода, слагающие структуру алмаза, прочно соединены между собой силами валентных связей. Каждый атом соединен с четырьмя атомами, окружающими его. Чаще всего встречаются алмазы в виде кубов *a*, октаэдров *б*, ромбододекаэдров *в* или переходных между ними форм *г* (рис.22).

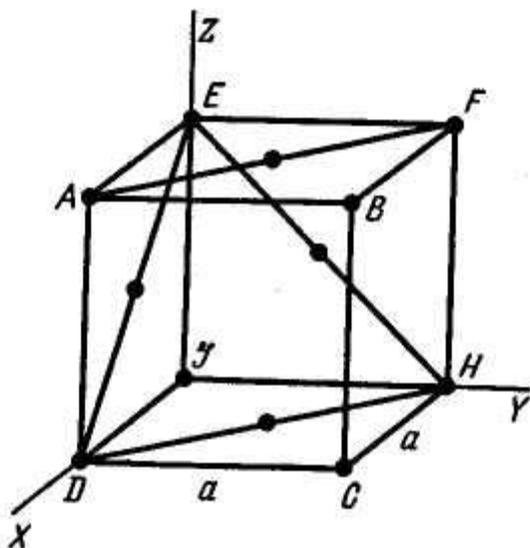


Рисунок 23 – Элементарная ячейка структуры алмаза

Пространственная решетка алмаза представляет собой систему одинаковых плотно уложенных параллелепипедов, вершины которых называются узлами. Плоскости, проходящие через три узла, составляют плоскую сетку. Каждый параллелепипед называется ячейкой решетки (рис.23). Ребро ячейки имеет длину $3,56 \text{ \AA}$ ($\text{\AA} = 0,0001 \text{ мкм}$), расстояние между атомами углерода $1,54 \text{ \AA}$. В природных алмазах вершины кри-

сталлов соответствуют узлам, грани – плоским сеткам, а ребра – рядам узлов.

2 Физико-механические свойства алмазов

Алмаз имеет самую высокую твердость среди природных минералов. Микротвердость его колеблется от 95000 до 100600 МПа. Износостойкость в несколько раз выше износостойкости широко известных абразивных материалов. Если принять абразивную способность алмаза за единицу, то абразивная способность карбида бора составит 0,5-0,7, карбида кремния – 0,2-0,4, а электрокорунда – 0,15.

Плотность алмазов зависит от включений и примесей в нем, также от пористости. Имеется связь между плотностью и окраской алмазов. Так, плотность алмазов оранжевого цвета 3,55, розового – 3,53, голубого – 3,525, зеленого – 3,523, бесцветных – 3,52 г/см³.

Модуль упругости алмаза равен $9 \cdot 10^5$ МПа. Этот показатель у алмаза выше показателя всех природных твердых тел. Предел прочности на изгиб у алмаза невысок – 200-500 МПа, что в 3-4 раза меньше, чем у вольфрам-кобальтового твердого сплава. Предел прочности при сжатии составляет в среднем 2000 МПа, что в 2 раза меньше предела прочности на сжатие у твердых сплавов.

3 Химические свойства алмазов

Алмаз состоит из углерода, содержание которого колеблется от 96 до 99,8%. Кроме углерода в алмазе, как правило, находятся примеси различных химических элементов: 0,2% азота, 0,1% кислорода, 0,002% алюминия, 0,001% кремния, 0,001% марганца, 0,0005% меди, железа, никеля, титана, цинка, магния, натрия. В алмазах встречаются также включения графита, рутила, ильменита, магнетита и других минералов.

Присутствие тех или иных химических элементов может вызывать различия в окраске алмазов. Так, примеси железа в небольших количествах создают желтый и желто-зеленоватый цвет, графит в тонкодисперсном состоянии дает сиреневую окраску алмазов. В основном же окраска алмазов зависит от количества свободных электронов в решетке, адсорбирующих световую энергию. На количество свободных электронов влияет присутствие азота в решетке. Кроме того, на окраску влияют дефекты решетки алмаза.

Кислоты, даже самые сильные, не действуют в обычных условиях на алмаз, однако при повышении температуры он приобретает химическую активность. Смесь серной кислоты с двуххромовокислым калием окисляет

алмазные порошки в углекислоту. В расплавленной натриевой и калиевой селитрах и соде при нагревании происходит растворение алмазов. Расплавленные карбонаты щелочей при температурах 100-1200 °С превращают алмаз в окись углерода. Отдельные металлы (железо, сплавы железа, никель и др.) при температуре более 800°С частично растворяют алмаз. Алмаз не смачивается водой, но обладает свойством прилипать к жировым смесям.

При нагревании до 800-1200 °С алмаз постепенно переходит в графит. В струе кислорода он сгорает слабым голубым пламенем при 850-1000 °С. В условиях защитной среды в атмосфере азота или инертных газов, в вакууме, а также в восстановительной среде (водород, окись углерода, ацетилен) – алмаз практически не графитизируется, даже при нагревании до 1000-1150⁰С.

4 Классификация алмазов по группам

В природе алмазы встречаются в форме кристаллов или их обломков, а также в виде сростков большого количества мелких кристаллов (агрегаты). Разновидностями агрегатных алмазов являются борты, балласы и карбонадо.

Алмазы разделяются на ювелирные и технические. К ювелирным относятся алмазы кристаллической формы, прозрачные, без трещин и включений, пятен и других изъянов. Наиболее ценными являются совершенно прозрачные светлые кристаллы, без цветных оттенков и мутных участков. К техническим алмазам относятся остальные камни кристаллической формы, а также агрегатные разновидности.

Технические алмазы высокого качества (XV группа) применяют в коронках без предварительной обработки. Технические алмазы низкого качества (XX группа) обязательно предварительно обрабатывают с целью разделения по форме и размерам, а также для выделения алмазов с более высокими прочностными свойствами. При этом алмазы подвергают дроблению, овализации, полировке, термической обработке и металлизации.

Черные алмазы (карбонадо) добывают только в Бразилии из россыпных месторождений. Карбонадо имеет темно-коричневый цвет, но иногда встречаются камни от светло-серого до черного. Карбонадо образованы из мелких кристаллов, расположенных в общей массе без определенной ориентации, в беспорядке, что обуславливает отсутствие спайности и более высокие физико-механические свойства. Плотность карбонадо колеблется от 2,9 до 3,45 г/см³. Карбонадо отличаются высокой стойкостью к истиранию и ударным нагрузкам, вследствие чего они широко применялись для армирования буровых коронок в колотом виде. В на-

стоящее время карбонадо не используют для изготовления коронок. Отдельные зарубежные фирмы выпускают алмазные расширители, армированные алмазами типа карбонадо.

Балласы являются промежуточными между алмазами кристаллической формы и карбонадо. Цвет их меняется от светлого до темного. Для балласов характерно радиально-лучистое строение с неправильным разрастанием мелких кристаллов, расположенных радиально. Балласы имеют сферическую форму без плоскостей спайности. Очень твердая оболочка равномерно окружает центральное крупнокристаллическое ядро и обуславливает высокую твердость балласов. Эти алмазы широко применяли в расширителях и однослойных коронках.

5 Предварительная обработка низкосортных алмазов

Технические алмазы низких сортов предварительно обрабатывают. В настоящее время применяется ряд новых технологических процессов и установок для повышения физико-механических свойств алмазного сырья.

Низкосортные алмазы **дробят** на различных установках с целью раскалывания кристаллов; по трещинам или дефектным местам и одновременно придают получаемым обломкам изометричную форму. Алмазы, дробленые механическими способами, используют для армирования буровых коронок, изготовления шлифовальных порошков и микропорошков.

Овализация низкосортных алмазов производится на специальных установках с целью получения алмазного зерна округленной формы, а также для разрушения слабых трещиноватых кристаллов с дефектами. В процессе обработки в камере овализатора алмазы получают вращательное движение, во время которого они ударяются друг о друга и о стенки камеры, истираются и раскалываются. В результате получают алмазы округлой формы более высокой прочности.

В зависимости от времени обработки сырья можно получать алмазы различной степени овализации: слабой, средней и сильной. В буровом инструменте в основном применяются алмазы средней степени овализации.

Алмазы, прошедшие избирательное дробление и овализацию, имеют более высокую механическую прочность.

Полирование алмазов применяется для обеспечения визуального просмотра кристаллов алмазов с целью отбраковки дефектных зерен, а также для уменьшения силы трения алмазов в коронке о разрушаемую горную породу. С уменьшением силы трения увеличивается скорость бу-

рения и снижается износ алмазов. Поэтому использование полированных алмазов перспективно для армирования коронок и расширителей.

Полирование алмазов осуществляется двумя способами: химическим и механическим. При химическом способе алмазы обрабатывают в расплаве щелочей с бурой при воздействии высокой температуры. При этом в первую очередь растворяются тонкие, выступающие части алмаза, в результате чего образуется гладкая поверхность камней. Величина безвозвратных потерь при химической полировке может достигать 20-30%, и более.

Механический способ полировки алмазов заключается в обработке алмазных овалированных зерен водной суспензией микропорошков алмаза с размером зерен от 1 до 40 мкм. Алмазам при обработке придается сложное планетарное движение для ускорения процесса полирования. Их помещают в металлические стаканы с суспензией. Алмазные зерна в стакане прижимаются центробежной силой к стенкам стаканов и за счет трения друг о друга и о стенки стаканов, а также от взаимодействия с суспензией истираются и полируются. Время обработки алмазов – около 10 ч. Безвозвратные потери составляют примерно 2%, а выход полированного сырья – 83%.

Термическая обработка алмазного сырья позволяет снимать внутренние напряжения в кристаллах и таким образом повышать их прочностные свойства. Опытные работы показывают, что прочность термически обработанных алмазов при статическом одноосном сжатии может повыситься на 20-40%. Режим термической обработки заключается в нагреве алмазов до 920-940 °С с последующим медленным охлаждением.

Криогенная обработка позволяет также снимать внутренние напряжения в алмазах и повышает их прочность. Опытные работы показали, что обработка коронок в жидком азоте увеличивает стойкость их до 30%. Обработка заключается в погружении в жидкий азот и кратковременной их выдержке в нем.

Металлизация алмазного сырья применяется с целью покрытия поверхности кристаллов тонким, в несколько микронов, слоем тугоплавкого металла, имеющего высокую адгезию к алмазу. Необходимость покрытия алмазов тугоплавкими металлами вызывается тем, что связка материала матрицы плохо смачивает алмаз, но к тугоплавким металлам у нее высокая адгезионная способность. По этой причине алмазы в матрице удерживаются только за счет сил трения.

Металлизация позволяет также «залечивать» трещины и микротрещины в алмазах и таким путем повышать их механическую прочность. Опытные работы показывают, что прочность при статическом одноосном сжатии металлизированных алмазов с толщиной пленки

металла от 5 до 10 мкм повышается на 15%. Металлизация алмазов позволяет значительно увеличить ресурс работы инструмента. Стойкость коронок, армированных металлизированными алмазами, возрастает на 15-25%.

6 Технические условия на алмазы, применяемые для армирования буровых коронок

Алмазы классифицируют в соответствии с техническими условиями. Все алмазное сырье делится на ряд категорий. Алмазы четвертой категории предназначены для многокристального инструмента (алмазные коронки, долота и карандаши для правки абразивных материалов); алмазы пятой категории применяются для предварительной обработки; алмазы девятой категории, предварительно обработанные, используют для алмазных коронок и долот (овализованные и дробленые алмазы).

Размерность алмазов в соответствии с техническими условиями может быть представлена: массой камня в кар; числом камней, приходящихся на 1 кар в шт/кар; для порошков в мкм; ситовыми классами в мм.

Техническими условиями предусматривается следующая характеристика алмазов.

Соотношение размеров по осям наибольшего искажения:

правильная форма	1:1
незначительное искажение формы	1,5:1
небольшое искажение формы	2:1
искаженная форма	3:1
сильно искаженная форма	4:1
пластинчатая и игольчатая форма	>4:1

В зависимости от степени разрушения кристаллы алмазов делятся на целые и обломки. К целым относятся неповрежденные кристаллы, а также камни, отколотые не более чем на $\frac{1}{3}$ исходного объема при условии, что сколы не искажают первоначальную форму алмаза. Обломком называется часть кристалла, составляющая менее $\frac{2}{3}$ его исходного объема. К дефектам в алмазах относятся включения других минералов, трещины, следы травления и сколы различного происхождения.

В табл.19 описаны алмазы, применяемые в буровом инструменте.

Таблица 19 – Алмазы, применяемые для армирования бурового инструмента

Характеристика по форме, цвету и дефектам	Группа	Под-группа	Размерность, шт/кар
Для буровых коронок			
Целые округлые кристаллы с незначительными искажениями: ромбододекаэдры, октаэдры с округлыми ребрами; целые кристаллы различной формы с небольшим искажением, кроме кубов и незакономерных сростков, в 3-ем качестве допускаются обломки кристаллов. Цвет алмазов различный, кристаллы прозрачные и непрозрачные. Характер дефектов – от незначительных до больших	XV	а	150-120 120-90 90-60 60-40 50-30 30-20
Для долот			
Целые кристаллы различных форм, кроме кубов с небольшим искажением, в 3-ем качестве допускаются кристаллы искаженной формы и их обломки. Цвет алмазов – различный. По степени прозрачности допускаются кристаллы от прозрачных до полупрозрачных. Характер дефектов – от незначительных до больших	XV	б	20-12 12-8 8-5 5-4 4-3 3-2 2-1
Для бурового и строительного инструмента			
Целые кристаллы различной формы и их обломки до небольшого искажения. Различные сростки кристаллов. Дефекты – различные. Цвет алмазов – различный. Степень прозрачности – от прозрачных до полупрозрачных	XV	в	S=0,5* S=0,7* S=0,8* 150-120 120-90 90-60 60-40 50-30 30-20 20-12 12-8

Овализованные алмазы для буровых коронок, долот и строительного инструмента				
<p>Обработанные алмазы округлой формы. Степень оваллизации – высокая. Площадь обработанной поверхности – не менее 80%. Дефекты – от незначительных до небольших, цвет – различный.</p> <p>Обработанные алмазы округлой формы, обработаны вершины и ребра. Степень оваллизации – средняя, площадь обработанной поверхности – 50-80%. Дефекты – от незначительных до небольших, цвет – различный.</p> <p>Обработанные алмазы с округленными ребрами и вершинами. Степень оваллизации – низкая, площадь обработанной поверхности – 20-50%. Дефекты – от незначительных до небольших, цвет – различный.</p>	XXXIV	а	600-400	
			400-200	
			200-150	
			150-120	
			120-90	
			90-60	
		б	60-40	
			50-30	
			30-20	
			20-12	
			12-8	
			8-5	
в	5-4			
	4-3			
	3-2			
	2-1			
	Дробленые алмазы для бурового и строительного инструмента**			
	<p>Изометричные обломки алмазов, допускаются сростки и шпинелевые двойники. Дефекты – от незначительных до небольших, цвет – различный. Допускаются (без ограничений) алмазы, слегка овализованные с площадью обработанной поверхности до 20%, а также до 5% алмазов низкой степени оваллизации.</p> <p>Допускается содержание алмазов искаженной формы: до 30% для алмазов крупностью 800-150 шт/кар, до 10% для алмазов крупности 150-90 шт/кар и до 3% для остальных крупностей</p>	XXXV	а	800-600
600-400				
400-200				
200-150				
150-120				
120-90				
90-60				
60-40				
50-30				
30-20				
20-12				
12-8				
8-5				
5-4				
4-3				
3-2				
2-1				

* Размерность алмазов определяется ситовым классом в мм.

** Содержание основной фракции должно составлять не менее 70%, допустимое измельчение – не более 15%, укрупнение – не более 15%.

7 Синтетические алмазы и сверхтвердые материалы

Синтетические алмазы впервые были синтезированы исследователем американской фирмы «Дженерал Электрик компании» Говардом Холлом в 1954 г. После этого в течение нескольких лет синтез искусственных алмазов был освоен в Швеции, Японии, Великобритании, Бельгии и других странах. К 1985 г. мировое производство синтетических алмазов составило более 100 млн. кар в год (без учета СССР), в том числе в США более 40 млн. кар.

В СССР решением проблемы синтеза алмазов и организации их выпуска занимались Институт физики высоких давлений АН СССР, Институт сверхтвердых материалов (ИСМ) АН УССР и ряд специализированных заводов и научно-исследовательских институтов. Этими организациями с 1960 г. был разработан и освоен промышленный выпуск ряда новых синтетических и сверхтвердых материалов и алмазов. Изготавливаются синтетические монокристаллические алмазы АС. Размер их составляет 0,04-1 мм. Кроме того, выпускаются две марки микропорошков с размером зерен от 1 до 60 мкм.

Эксплуатационные свойства шлифовальных порошков из синтетических алмазов зависят от формы зерен, их поверхности и прочности. Прочность алмазов определяется маркой. Так, алмазы АС-50 имеют прочность при раздавливании 50 Н, алмазы АС-80 – 80 Н; АС-132 – 132 Н.

Буровые импрегнированные коронки, армированные синтетическими алмазами АС-50 и АС-65 крупностью 0,5-1 мм, были рекомендованы Министерством геологии к серийному производству. Импрегнированные коронки армируются в объемном слое синтетическими алмазами, а в качестве подрезных в них применены вставки из сверхтвердого сплава славутич или твесал, в составы которых входят соответственно природные или синтетические алмазы.

Славутич – сверхтвердый материал, разработанный ИСМ АН УССР, не уступает природным алмазам по износостойкости и значительно превосходит их по прочности. Он может быть изготовлен в виде штабиков и пластин любой формы. Этот материал широко применяется для армирования долот, предназначенных для глубокого бурения скважин на нефть и газ, а также для правящего инструмента. В настоящее время освоен выпуск **твесала**, изготавливаемого полностью из синтетических алмазов. Большая часть долот для глубокого бурения армируется славутичем или твесалом.

Кроме перечисленных видов, в промышленности используются синтетические поликристаллы: баллас, карбонадо (АСПК), СВСП и др. Для буровых инструментов применяют алмазы типа **СВСП (АРС-3 и АРС-4)** и

АСПК. Эти синтетические материалы представляют собой сростки мелких синтетических кристаллов, прочность их и абразивная способность приближаются к этим показателям природных алмазов. Сростки этих материалов дробятся на мелкие зерна, которыми армируют коронки. Кроме того, они подвергаются овализации.

Коронки, армированные синтетическими алмазами СВСП, имеют работоспособность на уровне инструмента из природных алмазов. Подготовленным ИСМ АН УССР ГОСТ 9206-80 предусмотрен выпуск алмазов пяти марок, прочность которых регламентируется. В последнее время разработаны двухслойные пластины из твердого сплава с синтезированным на нем слоем алмаза. Такими пластинами армируются коронки для бурения в породах средней твердости. Кроме синтетических алмазов, изготавливаются синтетические сверхтвердые материалы, приближающиеся по твердости к алмазу, но имеющие более высокую теплостойкость – кубический нитрид бора – кубонит, эльбор или белбор и гексагональный нитрид бора – гексанит.

Кубонит – кубический нитрид бора представляет собой химическое соединение бора (43,6%) и азота (56,4%). Микротвердость кубического нитрида бора находится в пределах 75000-95000 МПа. Плотность кубонита 3,45 г/см³, а прочность приближается к прочности синтетических алмазов. Зерна кубонита имеют окраску от темно-коричневого до серого или белого цвета. Форма кристаллов октаэдрическая или тетраэдрическая. Кубический нитрид бора применяется в основном для обработки инструментальных сталей, а также других металлов и сплавов и для армирования буровых коронок. Преимущество кубонита — высокая теплостойкость, он не теряет механические свойства при высоких температурах. Из кубонита изготавливают шлифовальные порошки двух марок: КО – с размером зерен 160-40 мкм и КР – с размером зерен 250-40 мкм.

Гексанит имеет гексагональную кристаллическую решетку. Твердость и прочность его заметно ниже, чем кубонита, но ударная вязкость более высокая, в связи с чем он применяется в инструменте для обработки изделий, вызывающих сильные ударные нагрузки (детали, имеющие грани, отверстия и др.).

8 Технология изготовления алмазных коронок

Наибольшее распространение получили два метода изготовления алмазных коронок: **инфильтрации** (пропитки расплавленным металлом заранее спрессованной матрицы) и **горячего прессования** (пропитка металлом в процессе прессования матрицы).

В свою очередь способ инфильтрации подразделяется на три разно-

видности:

- холодное прессование с последующей пропиткой;
- вибропрессование с последующей пропиткой;
- холодное прессование с допрессовкой матрицы в горячем состоянии при пропитке.

Холодное прессование с последующей пропиткой осуществляется в стальной пресс-форме (рис.24), состоящей из дна 1, стальной обоймы 2, графитового вкладыша 3 и вкладышей для промывочных окон 4. На дно пресс-формы укладывают вручную с помощью пинцета «объемные» алмазы по определенной заранее заданной схеме. На уложенные алмазы насыпают порошок шихты матрицы. Масса шихты для каждого сектора коронки строго определенная. При изготовлении импрегнированных коронок мелкие «объемные» алмазы предварительно перемешивают механическим способом с материалом шихты. Полученную смесь алмазов и шихту в определенных навесках укладывают в сектора прессформы и затем подпрессовывают пуансоном вручную. После этого осуществляются ручная подпрессовка шихты и укладка первого слоя подрезных алмазов по стенке обоймы и по поверхности графитового вкладыша. Затем первый слой подрезных алмазов засыпают определенной навеской шихты и укладывают второй слой подрезных алмазов. Насыпают следующую навеску ших-

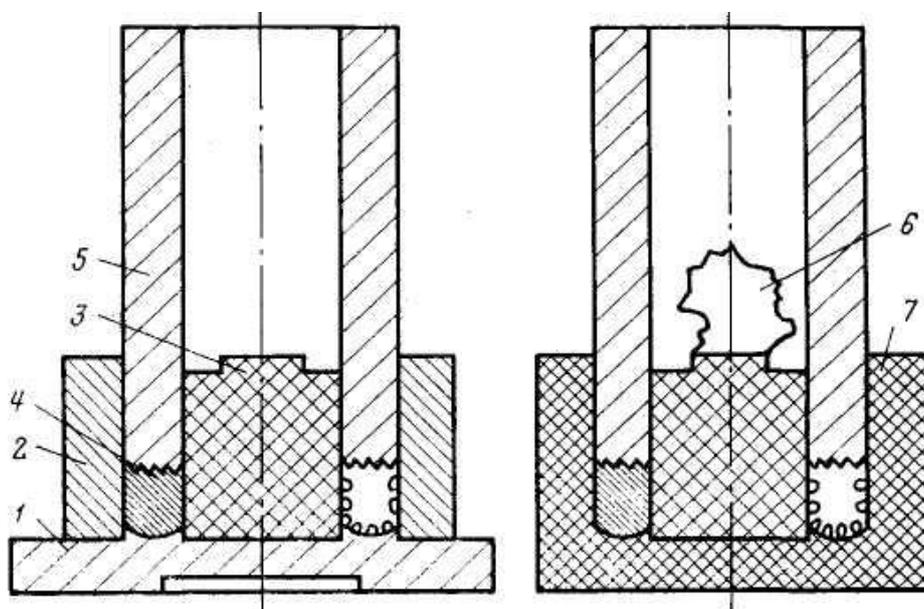


Рисунок 24 – Схема пресс-формы для изготовления коронок методом инфильтрации

ты и укладывают третий слой подрезных алмазов (если это предусмотрено конструкцией коронки), после чего засыпают навеску шихты приварочного слоя матрицы.

Далее в пресс-форму вставляют заготовку корпуса коронки 5 и на

прессе осуществляется операция прессования при давлении от 500 до 1000 кгс/см². После прессования пресс-форма распрессовывается: дно снимают, а корпус коронки вместе с матрицей и графитовым вкладышем выталкивают из обоймы. Отпрессованная коронка тщательно просушивается при температуре 150-200°С в течение нескольких часов, при этом из матрицы удаляются пары бензина, находящиеся в резиновом клее, на котором замешивают порошок шихты. За счет каучука, введенного в шихту, матрица коронки имеет довольно высокую механическую прочность, что позволяет осуществлять необходимые рабочие операции с заготовкой коронки.

Затем короночную заготовку помещают в графитовую форму 7, куда добавляют определенное количество пропиточного (связующего) металла 6. Форму с коронкой помещают в электропечь и нагревают до температуры, необходимой для расплавления пропиточного металла и придания ему легкой текучести. Обычно температура нагрева составляет 1120-1150°С. В электропечи предусматривается защитная атмосфера – водород, инертный газ, окись углерода или вакуум. При нагреве пропиточный металл расплавляется, пропитывает матрицу и приваривает ее к стальному корпусу. Время, необходимое для операции пропитки, в зависимости от диаметра коронки составляет 15-45 мин. Далее коронка охлаждается в печи до температуры 300°С, после этого ее извлекают для механической обработки.

В процессе механической обработки обтачивают и растачивают корпус, нарезают резьбу, фрезеруют промывочные окна и др.

Шихта коронок состоит из порошка вольфрамокобальтовой смеси (ВК-6, ВК-8 или ВК-10) и спеченных гранул твердого сплава или литого карбида вольфрама. В качестве пропиточного металла используется медь или медноникелевый сплав.

Описанным способом изготавливают коронки 01А3, 01А4, 02ИЗ, 02И4 и др.

Способ вибропрессования с последующей пропиткой отличается от описанного тем, что алмазы укладывают в графитовую форму, в которой заранее по определенной схеме высверливают или выпрессовывают углубления под них. Для подрезных алмазов в форме имеются прорезанные пазы. На рис.25,*а* показана конструкция такой формы.

Алмазы пинцетом вручную наклеивают в углубления формы и засыпают навеской шихты материала матрицы. В боковые пазы формы наклеивают подрезные алмазы первого слоя, который засыпают навеской шихты, затем наклеивают подрезные алмазы второго слоя и засыпают его приварочным слоем шихты. В форму вставляют заготовку корпуса коронки и производят вибропрессование на вибраторе. Затем осуществляются пропитка и механическая обработка. Этим способом изготавливают коронку 04А3.

Способ изготовления с горячей допрессовкой матрицы отличается от описанных тем, что во время пропитки при доведении температуры нагрева до точки плавления металла форму извлекают и дополнительно спрессовывают.

При этом матрица уплотняется, а все поры в матрице заполняются

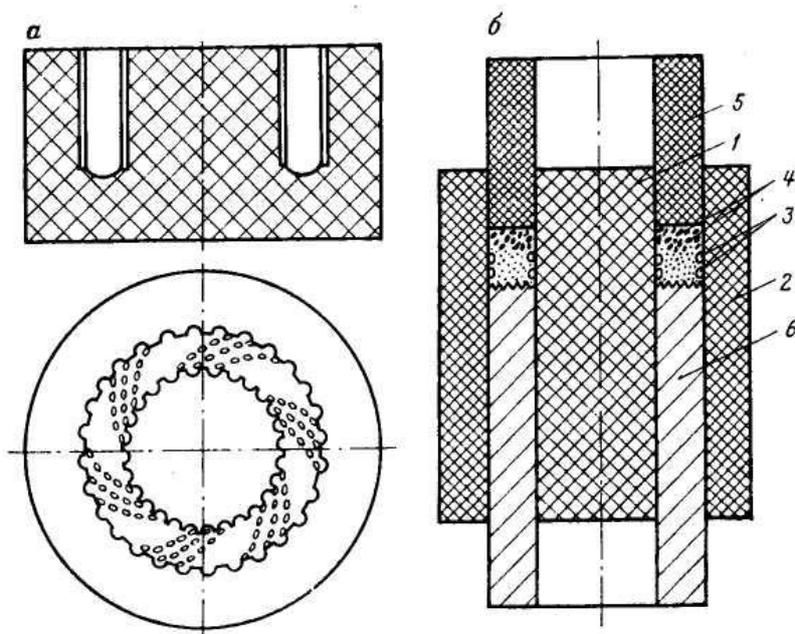


Рисунок 25 – Схема пресс-форм для изготовления коронок методом:
а – вибропрессования с пропиткой; б – горячего прессования

расплавленным металлом, вследствие чего прочность и износостойкость матрицы значительно возрастают. Одновременно улучшается закрепление алмазов в матрице.

Этим способом изготавливается коронка А4ДП.

Способ горячего прессования заключается в том, что операции нагрева и прессования осуществляются одновременно. Шихта матрицы состоит из смеси твердосплавных порошков ВК-6 или ВК-8 и порошка меди в соотношении 1:1. Пресс-форма для изготовления коронок этим методом показана на рис.25,б.

Алмазы размещают в кольцевом пространстве между графитовым вкладышем и графитовой обоймой 2. Укладывают алмазы в обратном порядке – на заготовку корпуса 6 укладывают подрезные алмазы 3, а затем объемные 4. Сверху ставят графитовый пуансон 5. В собранном виде пресс-форма нагревается (высокочастотным или электрическим способом). Одновременно с нагревом осуществляется операция прессования. После окончания этой операции форма охлаждается, а коронка проходит механическую обработку. Этим методом изготавливают коронки с матрицей

высокой твердости и износостойкости.

9 Качество изготовления инструмента и его контроль

Технические требования к выпускаемому алмазному породоразрушающему инструменту изложены в ТУ2-037-79-72 «Инструмент буровой алмазный геологоразведочного назначения». Техническими условиями предусмотрено, что коронки и расширители должны изготавливаться в соответствии с чертежами и технологическими процессами, утвержденными в установленном порядке.

В каждой партии допускается изготовление до 10% коронок с предельными отклонениями по диаметрам матрицы $\begin{matrix} +0,5 \\ -0,3 \end{matrix}$ мм.

Корпуса коронок и расширителей изготавливаются из стали 20 или 30 по ГОСТ 1050-74. Резьба на корпусах коронок и расширителей должна соответствовать ГОСТ 6233-72.

Матрица алмазных коронок и расширителей изготавливается из материалов, описанных выше. Штабики впаивают в корпуса расширителей с применением меди марки МО или М1 по ГОСТ 859-78.

Алмазы в коронках без заданного выпуска должны быть вскрыты приблизительно на 0,1-0,2 мм. Для подрезных алмазов допускается, чтобы около 30% их (в пределах каждого сектора матрицы) было не вскрыто.

Правила приемки и методы испытаний алмазного породоразрушающего инструмента предусматривают контрольную проверку всех изготавливаемых коронок и расширителей на соответствие ТУ-2-037-76-72.

Коронки и расширители следует представлять к приемке партиями. Партией считается количество коронок и расширителей, подготовленных к упаковке в течение одной смены.

В процессе изготовления 100%-ному контролю подлежат: корпуса коронок и расширителей; качество раскладки алмазов; размеры готовых коронок и расширителей.

После пропитки не допускается наличие темных недопропитанных участков и трещин в матрицах коронок и штабиках расширителей, видимых невооруженным глазом. После пропитки в теле штабиков допускается наличие отдельных волосовидных несквозных по отношению к толщине штабика трещин видимых невооруженным глазом.

Из каждой партии приготовленной шихты изготавливают две безалмазные коронки, на которых проверяют твердость матрицы, качество пропитки и припайвания матрицы к стальному корпусу коронки. Из каждой партии шихты расширителей изготавливают два безалмазных штабика, на которых проверяют твердость, качество пропитки по излому. Излом должен быть однородным, без темной сердцевины, включений, трещин и рассло-

ний.

Для определения твердости безалмазную матрицу или штабик шлифуют на глубину 1,5-2 мм. Твердость замеряют на приборе Роквелла алмазной пирамидой на шлифованных участках поверхности. На каждом секторе матрицы должно быть не меньше 8-10 замеров. Среднее арифметическое результатов всех замеров должно соответствовать нормируемой твердости матрицы.

Качество пропитки и припайки матрицы к корпусу коронки проверяется путем визуального осмотра поверхности излома, полученной при раздавливании матрицы на прессе давлением на боковую поверхность корпуса. Излом должен частично пройти по телу матрицы, быть однородным без включений, расслоений и темной сердцевины.

Если результаты контроля не соответствуют какому-либо из приведенных выше требований, контроль повторяется на удвоенном количестве образцов. При повторном несоответствии результатов проверки требованиям ТУ вся партия коронок или шихты бракуется.

В настоящее время ведутся работы, направленные на разработку неразрушающих методов контроля качества изготовления алмазного породоразрушающего инструмента. Эти методы предусматривают контроль качества резьбы, ее соосности с матрицей, качество укладки алмазов с применением рентгеноскопии, выявление пористости и трещин в матрице – ультразвуковой дефектоскопией и др.

Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение алмазного породоразрушающего инструмента осуществляются также в соответствии с ТУ 2-037-79-72.

Пример маркировки коронки, которая выполняется на ее корпусе:

01А3Д60К40 № 728260 АИ, где 1 – конструкция коронки 01, А – однослойная, 3 – твердость матрицы HRC 20-25, объемные алмазы – дробленые, крупностью 60-90 шт/кар, подрезные алмазы – овализованные, крупностью 40-60 шт/кар, заводской номер коронки 728260, изготовлена на КБЗАИ в первом квартале.

Пример маркировки расширителя, которая наносится на его корпусе:

РМВ-1 В20 № 1845 АИ, где РМВ-1 – тип расширителя; В – сорт алмазов XV группы, подгруппы а, 2 качества; 20 – зернистость алмазов 20-30 шт/кар; № 1845 – заводской номер расширителя; АИ – товарный знак изготовителя.

Перед упаковкой каждую коронку и расширитель вместе с паспортом кладут в специальный индивидуальный футляр. Для транспортирования индивидуальные футляры с алмазным инструментом упаковывают в деревянные ящики или специальные сумки. Транспортирование и хранение коронок и расширителей без футляров не разрешается.

Каждую коронку перед упаковкой покрывают антикоррозийной смазкой или покрытием, предохраняющими от появления коррозии в течение 1 года. Расконсервация инструмента от антикоррозионного покрытия производится непосредственно перед бурением.

В паспорте коронки или расширителя указывают следующие сведения:

- завод-изготовитель и его министерство;
- номинальный диаметр и группу;
- марку;
- общую массу алмазов;
- заводской номер;
- дату изготовления и штамп ОТ К завода;
- номер ТУ на инструмент;
- товарный знак завода-изготовителя.

В паспорте имеются графы, предназначенные для заполнения потребителем:

- краткая характеристика разбуренной породы;
- пробуренный объем в м;
- параметры режима бурения;
- особые замечания.

При упаковке коронок в непрозрачные футляры или коробки на крышке должны быть указаны: марка коронки; год выпуска; масса алмазов в коронке или расширителе; товарный знак завода-изготовителя.

Завод-изготовитель гарантирует соответствие коронок и расширителей утвержденным техническим условиям.

Претензии по качеству коронок, размерам, отклонению резьбы, дефектам в матрице и другие принимаются заводом-изготовителем в течение одного года со дня изготовления при условии соблюдения потребителем правил транспортировки и хранения, установленных ТУ 2-037-79-72.

Претензии по надежности крепления матрицы к стальному корпусу могут быть приняты для арбитражной проверки коронок, бывших в работе, при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации инструмента, установленных инструкцией по алмазному бурению.

ГРУЗОВЫЕ КАНАТЫ

На буровых работах стальные канаты применяют для спуска и подъема бурильных и обсадных труб, разрушения породы и желонирования при ударном бурении, спуска в скважину специальных приборов (геофизических, гидрогеологических) при проведении исследований. От рационального выбора и правильной эксплуатации каната зависят сроки его службы и работоспособность буровой установки в целом.

1 Классификация и конструкция канатов

Конструктивно различают канаты одинарной, двойной и тройной свивки (рис.26).

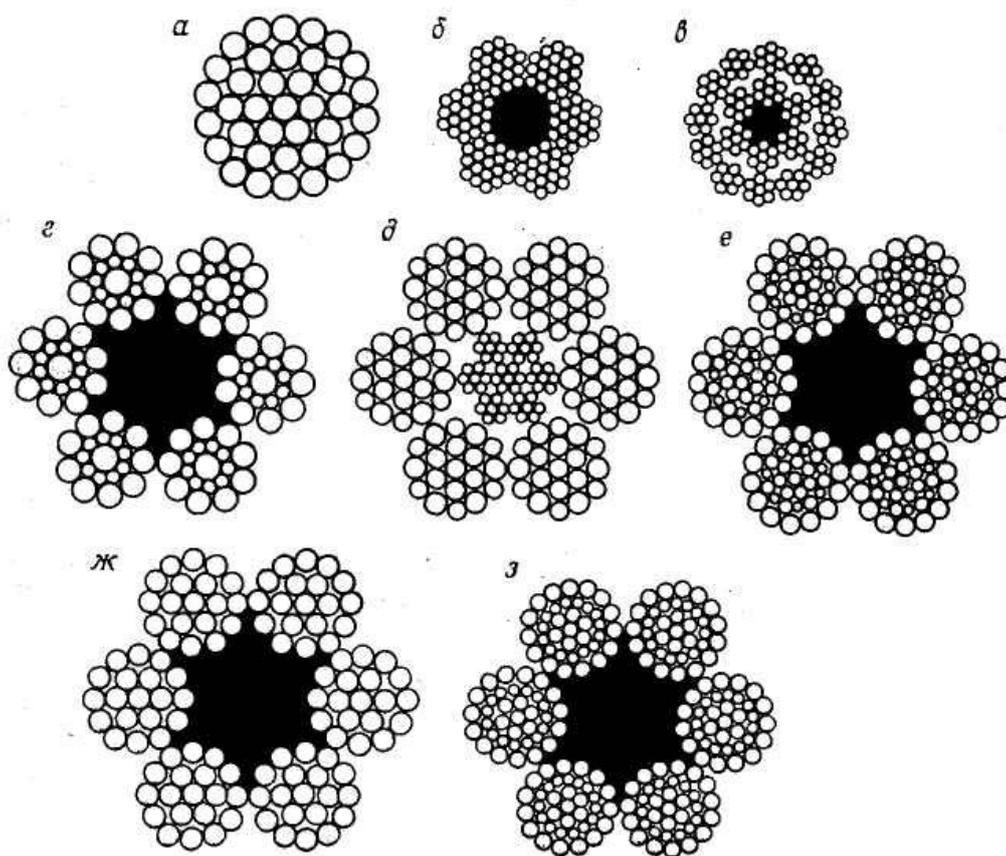


Рисунок 26 – Стальные канаты:

- а* – спиральный; *б* – однослойный двойной свивки;
в – многопрядный; *г* – двойной свивки типа ЛК-О с органическим сердечником; *д* – двойной свивки типа ЛК-Р с металлическим сердечником; *е* – двойной свивки типа ЛК-РО; *ж* – двойной свивки типа ТК;
з – двойной свивки типа ТЛК-О

Канат одинарной свивки (спиральный) состоит из круглых проволок, свитых вокруг центральной проволоки или сердечника из органического материала в один или несколько концентрических слоев. Если такой канат является составной частью канатов более сложной конструкции, его называют прядью.

Канат двойной свивки состоит из прядей, свитых в один или несколько слоев вокруг центрального сердечника. В соответствии с числом слоев прядей такие канаты называют однослойными и многослойными или многопрядными.

Канат тройной свивки состоит из свитых канатов двойной свивки, называемых в этом случае стренгами.

На буровых работах наибольшее распространение получили шестипрядные канаты двойной свивки.

По материалу сердечника различают канаты с органическим сердечником (О.С.), с металлическим сердечником (М.С. или указывается его конструкция), с сердечником из искусственных материалов (И.С.). В большинстве конструкций канатов применяют пропитанные смазкой органические сердечники из пеньки или хлопчатобумажного корда. Канаты с металлическими сердечниками имеют большую поперечную жесткость, что предохраняет канат от раздавливания при многослойной навивке на барабан лебедки.

Пример обозначения **конструкции каната**: $6 \times 19[1+6+6/6]+1$ О.С. – канат двойной свивки с органическим сердечником, 6 прядей по 19 проволок в каждой, в квадратных скобках указана структура пряди: вокруг центральной проволоки свиты первый слой из 6 проволок одного диаметра и второй слой из 12 проволок двух диаметров.

В слоях пряди направление свивки проволок может быть односторонним или противоположным. В спиральных канатах направление свивки внутренних слоев проволок чередуется, в канатах двойной свивки все слои проволок пряди свиваются в одном направлении.

Пряди односторонней свивки изготавливают с постоянным или переменным углом свивки проволок по слоям. Вид свивки пряди определяет тип касания проволок между слоями, в зависимости от чего различают канаты с точечным касанием проволок (ТК), с линейным касанием (ЛК), с комбинированным точечно-линейным касанием (ТЛК).

В прядях **с точечным касанием** углы свивки по слоям проволок разные, вследствие чего проволоки соседних слоев перекрещиваются. При эксплуатации каната в точках касания возникают значительные контактные напряжения, способствующие развитию усталостных трещин и более быстрому износу каната.

Пряди с *линейным касанием* проволок имеют одностороннюю свивку с постоянным углом во всех слоях. В прядях типа ЛК-0 диаметр проволок в слоях одинаковый, в прядях типа ЛК-Р наружный слой имеет проволоки разного диаметра, в прядях типа ЛК-РО имеются слои с проволоками одинакового диаметра и слои с проволоками разных диаметров, а в прядях типа ЛК-З между слоями проволок одинакового диаметра размещены проволоки меньшего диаметра.

Канаты с линейным касанием проволок в прядях более долговечны, чем с точечным касанием. В прядях канатов ТЛК имеются слои проволок с линейным касанием и слои с точечным касанием. Индексация диаметров проволок в слоях прядей такая же, как и в канатах ЛК.

При маркировке каната указывается соответствие следующим признакам классификации:

- 1) назначению: грузоподъемные – ГЛ, грузовые – Г;
- 2) механическим свойствам проволоки: высшей марки – В; первой марки – I, второй марки – II;
- 3) виду покрытия поверхности: светлой проволокой (не обозначается), оцинкованной проволокой для средних по агрессивности условий работы – С, для жестких агрессивных условий работы – Ж, для особо жестких агрессивных условий работы – ОЖ;
- 4) направлению свивки (рис.27): правая (не обозначается); левая – Л;

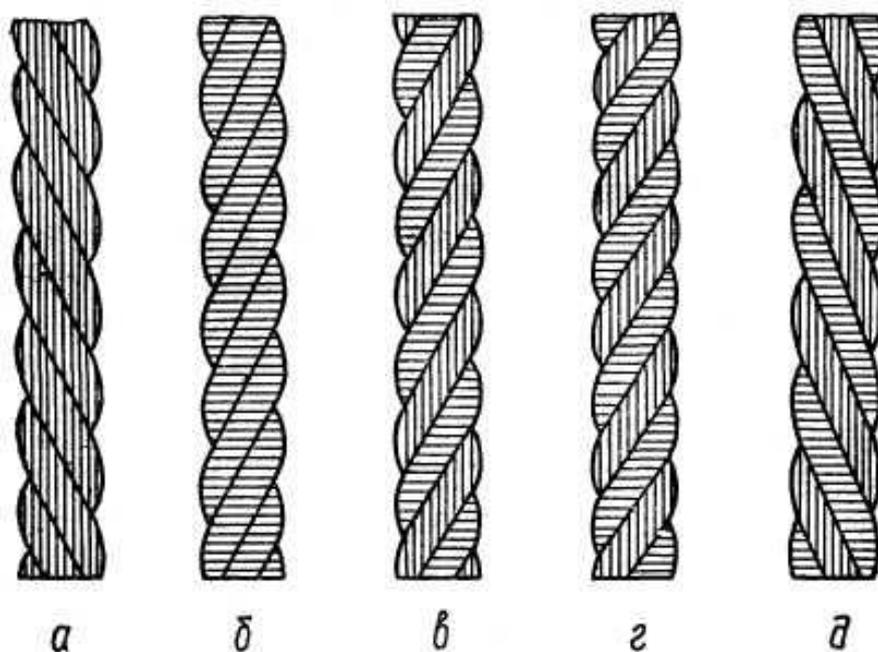


Рисунок 27 – Характер (*а* – крестовый; *б* – односторонний; *в* – комбинированный) и направление свивки (*г* – правое; *д* – левое) канатов

5) сочетанию направлений свивки элементов каната: крестовая (не обозначается), односторонняя (О), комбинированная (К);

6) способу свивки: раскручивающиеся – Р (если снять перевязки с концов каната, то пряди и проволоки в них начнут раскручиваться), нераскручивающиеся – Н (проволокам предварительно придали ту форму, которую они занимают в канате);

7) кручению: крутящиеся (не обозначаются) и малокрутящиеся (МК).

Пример обозначения *марки каната*: 12-ГЛ-В-Л-О-Н-1764. Канат диаметром 12 мм, грузоподъемной, проволоки высшей марки без покрытия, левой односторонней свивки, нераскручивающийся, крутящийся, группы прочности 1764 МПа.

2 Выбор и эксплуатация канатов

Согласно правилам безопасности для геологоразведочных установок талевые канаты выбирают по величине статического усилия. Запас прочности к разрывному усилию R_k должен составлять

$$n = \frac{R_k}{P_{л.макс}} \geq 3.$$

Здесь $P_{л.макс}$ – максимальное усилие, развиваемое лебедкой на низкой скорости с учетом возможной перегрузки двигателя

$$P_{л.макс} = \frac{N \cdot \lambda \cdot \eta}{V_{мин}},$$

где N – номинальная мощность двигателя установки, Вт; λ – коэффициент кратковременной перегрузки двигателя (для ЭД – 1,8...2,2, для ДВС – 1,1...1,15); η – КПД передач от двигателя до вала лебедки (принимается равным 0,9...0,94 в зависимости от числа передач в кинематической цепи); $V_{мин}$ – минимальная скорость навивки каната на барабан лебедки, м/с.

При вращательном геологоразведочном бурении применяют канаты диаметром от 5 до 27,5 мм грузового назначения марки I из светлой или оцинкованной проволоки с временным сопротивлением разрыву 1600-1800 МПа, нераскручивающиеся, правой крестовой свивки. Предпочтительнее использовать канаты с линейным или точечно-линейным контактом проволок в прядях, для тяжело нагруженных талевых систем – с металлическим сердечником.

При ударно-канатном бурении рекомендуются канаты левой односторонней свивки, крутящиеся.

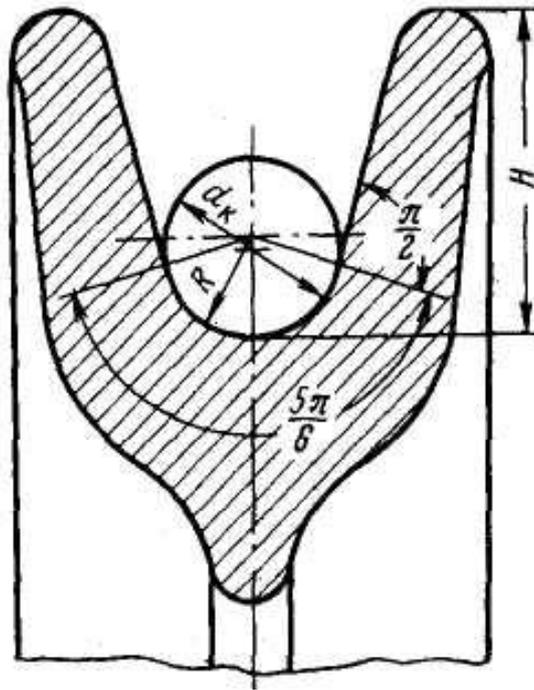


Рисунок 28 – Профиль канавки шкива

Для глубокого бурения на нефть и газ применяют канаты компанд-конструкции. Наружный слой пряди выполнен из проволок большего диаметра, в результате чего внутренние слои надежно защищаются от износа и повреждений.

Необходимыми условиями нормальной эксплуатации каната являются его периодическая смазка, упорядоченная навивка на барабан, отсутствие контактов с неподвижными элементами конструкции. Долговечность каната в значительной мере зависит от динамических нагрузок, поэтому разгон и особенно торможение инструмента должны быть плавными.

На барабане лебедки канат закрепляют с помощью устройств, предусмотренных конструкцией барабана, а с подъемным инструментом соединяют с помощью коуша не менее чем тремя винтовыми зажимами.

Для увеличения долговечности каната диаметр шкива по канавке талевого блока и кронблока (рис.28) в установках геологоразведочного бурения принимается $D_{Ш} \geq 18 \cdot d_K$, где d_K – диаметр каната, мм; для тяжелых установок (бурение на нефть, газ, воду) $D_{Ш} \geq (32...42) \cdot d_K$.

Глубина канавки $H = 1,75 \cdot d_K$.

Радиус канавки $R = 0,5d_K + (0,02...0,07)d_K$.

Правилами безопасности запрещается эксплуатация канатов: с одной оборванной или вдавленной вследствие обрыва сердечника прядью; при числе оборванных проволок более 5% на длине шага свивки каната диаметром до 20 мм, а каната диаметром свыше 20 мм – более 10%; вытянутых, изношенных или сплюснутых канатов, если их минимальный диаметр составляет 90% и менее первоначального.

3 Упаковка канатов

Канаты массой свыше 700 кг должны поставляться на деревянных или металлических барабанах. При массе свыше 3000 кг деревянные барабаны должны иметь центральные металлические втулки.

Диаметр бочки барабана должен быть не менее 15-кратного диаметра каната. Борт барабана должен выступать над наружным слоем каната на величину, большую 2 его диаметров.

Канат должен быть уложен плотными неперепутанными рядами. Концы прикреплены к борту проволокой или сердечником.

При поставке канат сопровождается сертификатом с указанием завода-изготовителя (наименование или товарный знак), типа и марки каната, его длины, массы, временного сопротивления разрыву проволоки, суммарного разрывного усилия каната в целом и номера сортаментного стандарта. Основные показатели из сертификата указываются на металлической или деревянной бирке, прикрепленной к канату.

РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

1 Напорные и всасывающие рукава

Рукава используются на буровых работах для передачи промывочной жидкости, подачи в скважину тампонажных растворов и смесей, при гидророткачках.

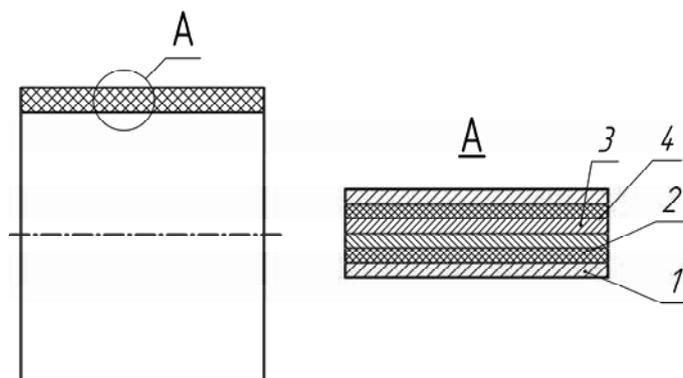


Рисунок 29 – Конструкция оплеточного рукава: 1 – резиновый слой; 2 – хлопчатобумажная оплетка; 3 – металлическая оплетка; 4 – специальная паста

Все применяемые рукава подразделяются на **напорные и всасывающие**. Напорные в свою очередь делят на рукава оплеточной и прокладочной конструкции.

Рукава буровые оплеточные (МРТУ 38-5-6089-66) применяются для подачи под давлением воды и растворов с содержанием нефти до 20 % (рис.29).

Техническая характеристика приведена в табл.20.

Минимальный допустимый радиус изгиба $10d_{\text{вн}}$. Разрушающее гидравлическое давление $2p$. Гарантийный срок хранения на складе 1 год. Гарантийный срок эксплуатации 500 часов.

Таблица 20 – Техническая характеристика оплеточных буровых рукавов

Внутренний диаметр рукава $d_{\text{вн}}$, мм	Наружный диаметр рукава, мм	Рабочее давление p , МПа	Длина, мм	Число металлических оплеток	Масса 1 м рукава, кг
38±0,5	57,8	5	10 000±150	1	1,6
		15	18 000±300	2	2,4
		20	18 000±300	3	3,02
50±0,5	70,8	7,5	18 000±300	1	2,20
		10	18 000±300	2	2,90
		15	18 000±300	3	3,85
60±0,5	96,8	10	18 000±300	1	4,44
		15	18 000±300	2	6,64
		20	18 000±300	3	8,06

Рукава буровые резиноканевые (МРТУ 37-5-1465-67) применяют

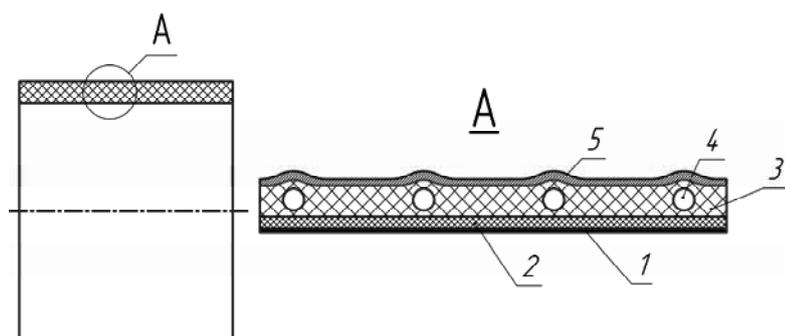


Рисунок 30 – Конструкция резиноканевого рукава: 1 – резиновая камера; 2 – резиновый слой; 3 – тканевые прокладки; 4 – проволочная спираль; 5 – тканевая обкладка

для подачи под давлением до 3 МПа растворов без ограничения по содержанию нефти. Конструктивно рукава состоят из резиновых и тканевых слоев, внутри которых для упрочнения располагается проволочная спираль (рис.30).

Техническая характеристика рукавов приведена в табл.21.

Номинальная длина рукавов 10 000 или 20 000 мм с допуском отклонением ± 200 мм. Разрушающее гидравлическое давление 7,5 МПа. Гарантийный срок хранения 1 год. Гарантийный срок эксплуатации 1 год. Для увеличения срока службы рукавов рекомендуется сплошная наружная обмотка мягкой проволокой.

Таблица 21 – Техническая характеристика буровых рукавов прокладочной конструкции

Внутренний диаметр рукава, мм	Наружный диаметр рукава, мм	Число прокладок из ткани		Толщина резиновых слоев	
		стержневой	хлопчатобумажной	внутреннего	наружного
32 \pm 1,0	55	4	5	2,5	1,3
38 \pm 1,0	63	5	6	2,5	1,3

Рукава всасывающие (ГОСТ 8496-57) применяются для всасывания (при разрежении 600 мм. рт. ст) различных жидкостей. По конструкции аналогичны напорным резиноканевым рукавам. Техническая характеристика приведена в табл.22.

Таблица 22 – Техническая характеристика всасывающих рукавов

Внутренний диаметр рукава, мм	Длина, мм	Масса 1 м рукава, кг
75 \pm 2,0	2 000-18 000	3,1
100 \pm 2,0	2 000-18 000	4,5
125 \pm 2,0	2 000-18 000	6,3

150±3,0	2 000-8 000	8,0
175±3,0	2 000-8 000	9,5
200±4,0	2 000-8 000	11,5
225±4,0	2 000-8 000	13,5
250±4,0	2 000-8 000	15,3

Допустимое отклонение длины рукавов до 4 000 мм составляет +200 и – 100 мм, длины рукавов свыше 4000 мм – +300 мм и -100 мм. Минимальный допустимый радиус изгиба 500 мм. Гарантийный срок хранения на складе 1,5 года. Гарантийный срок эксплуатации 0,5 года.

Рукава малого диаметра поступают свернутыми в бухты, большого диаметра – в прямом состоянии. Хранить рукава следует в отапливаемом помещении при температуре 10-20°С и влажности 20-70 %, избегая попадания прямых солнечных лучей, в прямом состоянии, с защитой от грызунов и насекомых. Запрещается хранение рукавов совместно с горючесмазочными материалами, вблизи паропроводов, с приборами и оборудованием, генерирующими озон.

2 Приводные клиновые ремни

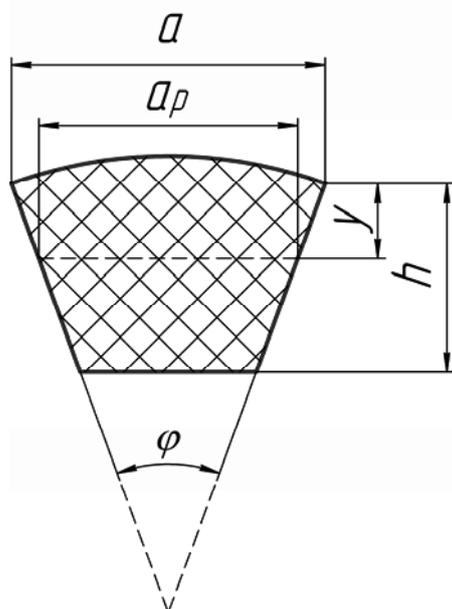


Рисунок 31 – Сечение клинового ремня: a – ширина верхнего основания, a_p – расчетная ширина ремня по нейтральному слою, h – высота ремня, y – расстояние до нейтрального слоя, φ – угол клина ремня

Клиноременные передачи применяются для привода буровых станков, насосов, компрессоров, глиномешалок и соединения между собой агрегатов.

Клиновой ремень представляет собой замкнутое кольцо без сrostков и имеет в поперечном сечении вид трапеции. Выпускается трех видов (рис.31):

- нормального сечения с отношением $\frac{a_p}{h} = 1,4$;
- узкие с $\frac{a_p}{h} = 1$;
- широкие с $\frac{a_p}{h} > 2$.

Различают внутреннюю длину ремня и расчетную. За расчетную длину принимают длину по нейтральному слою.

Размеры нормальных клиновых ремней по ГОС 1284-80 приведены в табл.23. Угол клина для этих ремней принят 40° .

При выборе ремней следует учитывать, что при малых диаметрах шкивов и высоких скоростях необходимо применять более гибкие и долговечные ремни из кордшнура, а в остальных случаях – из кордткани, которые наиболее распространены.

Таблица 23 – Приводные клиновые ремни нормального сечения

Обозначение	Размеры сечения, мм				Площадь сечения, см ²	Расчетная длина, мм		Минимальный допустимый диаметр шкива, мм	Применяется при моменте, кгс·м
	a_p	h	a	y		наименьшая	наибольшая		
О	8,5	6,0	10	2,1	0,47	400	2500	63	2,5
А	11,0	8,0	13	2,8	0,81	560	4000	90	1,5-7
Б	14,0	10,5	17	4,0	1,38	1000	6300	125	4-19
В	19,0	13,5	22	4,8	2,30	1800	10600	200	11-55
Г	27,0	19,0	32	6,9	4,76	3150	15800	315	45-200
Д	32,0	23,5	38	8,3	6,92	4500	18000	500	110-450
Е	42,0	30,0	50	11,0	11,70	6300	14000	800	220

Диаметры шкивов и профили их канавок должны соответствовать сечениям ремней. Лишь правильно выбранные ремни, полностью прилегающие рабочими сторонами к канавкам шкива и соответственной длины, будут работать нормально.

3 Прокладочные и набивочные материалы

Картон прокладочный служит для изготовления уплотнительных прокладок, фланцевых и других соединений. Он выпускается по ГОСТ 9347-60 двух марок: А – пропитанный, толщиной 0,2-1,5 мм и Б – непропитанный, толщиной 0,3-2,5 мм. Плотность картона 0,8-0,85 г/см³, влажность 10-12%.

Паронит изготавливается по ГОСТ 481-71 и различным ТУ из асбестового волокна, синтетических каучуков и других материалов и выпускается в виде листов или прокладок различных размеров, применяемых для уплотнения соединений деталей двигателей, трубопроводов, гидравлических систем и механизмов, работающих в различных средах. Размеры листов: толщина 0,4-6,0 мм, длина от 400 до 2300 мм и ширина от 300 до 1300 мм.

Плотность паронита изменяется от 1,5 до 2,7 г/см³. Паронит может работать при давлениях до 100 кгс/см² и температуре до 450° С.

Характеристика сальниковых набивок, их сортамент и рекомендуемые параметры работы регламентированы ГОСТ 5152-66.

Набивка асбестовая АСТ применяется для уплотнения сальников вентилях, задвижек и другой регулирующей и запорной арматуры. Она выпускается квадратного сечения со стороной от 4 до 25 мм из асбестовых нитей, пропитанных суспензией фторопласта с добавкой талька. **Набивка асбестотальковая АСТ-4ДП** выпускается по СТУ 30-14006-63 и предназначена для уплотнений сальников центробежных насосов, работающих на воде. Поставляется в виде шнура с наружной оплеткой асбестовыми нитями, внутри набитого тальком и пропитанного специальной эмульсией; изготавливается квадратного сечения со сторонами 10, 13 и 16 мм.

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1 Свойства смазочных материалов

Для смазки машин применяют минеральные, растительные масла и животные жиры. Смазочные материалы бывают жидкие и густые или консистентные.

Консистентные смазки получают путем загущения жидких минеральных масел натровым или кальциевым мылом, нефтяными продуктами (парафином, минеральным воском).

Разновидностью консистентных смазок являются эмульсионные, которые изготовляют загущением смеси воды и нефтяного сырья – солями смоляных кислот.

Для смазки буровых станков и горных машин применяют в основном минеральные масла.

Качество смазочных материалов характеризуется следующими свойствами: удельным весом, вязкостью, температурой вспышки, температурой каплепадения, температурой застывания, пенетрацией, кислотностью, щелочностью, стабильностью и содержанием примесей (воды, золы, кокса).

Удельный вес смазочных материалов характеризует отношение массы масла, взятого с температурой 20°C, к массе воды того же объема с температурой 4°C.

Вязкость характеризует густоту или подвижность смазки. Вязкость бывает динамическая, кинематическая и условная. В технике пользуются чаще всего условной (относительной) вязкостью, которая измеряется в градусах при той или иной температуре смазки.

Число градусов, показывающее условную вязкость данного материала, будет соответствовать отношению времени истечения 200 см³ этого масла ко времени истечения такого же объема дистиллированной воды, с температурой 20 °С. Чаще всего определение вязкости производится при температуре смазки 20, 50 и 100 °С (ВУ₅₀, ВУ₁₀₀).

Температура вспышки характеризует масло с точки зрения его устойчивости к нагреванию.

Температура застывания показывает возможность использования данного масла в условиях пониженных температур. Температура, при которой масло теряет свою подвижность, называется температурой застывания.

Пенетрация характеризует густую смазку и ее способность выдерживать нагрузки. Пенетрация определяется величиной погружения в

мазь в течение 5 с свободно падающего конуса и выражается в сотых долях сантиметра.

Температура каплепадения показывает, при какой температуре консистентная смазка будет иметь первую каплю.

Кислотность характеризуется кислотным числом, показывающим, сколько миллиграммов едкого калия (КОН) требуется для нейтрализации 1 г минерального масла.

Стабильностью называют способность нагретого масла сопротивляться окислению кислородом воздуха.

Содержание в масле примесей (допустимое) устанавливается соответствующим ГОСТом.

2 Типы смазок

Существует очень много видов и сортов смазочных масел и мазей. В табл.24 приводятся данные о некоторых видах масел и мазей для буровых станков и станочного парка.

Тяжело нагруженные тихоходные машины и механизмы, работающие при высокой температуре, следует смазывать твердыми смазочными материалами, к которым относятся, например, тальк, графит, слюда.

Для смазывания тяжело нагруженных горных машин (экскаваторы, бульдозеры, скреперы) применяются материалы, данные о которых приведены в табл.25.

Компрессорные масла применяют для смазки пневмоцилиндров и компрессоров. Эти смазки стойки к окисляющему действию воздуха и имеют высокую температуру вспышки, хорошо очищены и не вязки. В настоящее время компрессорное масло выпускается двух сортов – М и Т (табл.26). Первое применяют для одно-и двухступенчатых поршневых компрессоров; второе – для многоступенчатых компрессоров.

Таблица 24 – Смазочные материалы для буровых станков и станочного парка

Масла и мази	Область применения (механизм, сборочные единицы, для которых предназначена смазка)
Для высокоскоростных механизмов Л (велосит), ГОСТ 20799-75	Быстроходные точные механизмы, работающие с частотой вращения 15-20 тыс. об/мин или со скоростью на шейке 4,5-6,0 м/с

Для высокоскоростных механизмов Т (вазелиновое), ГОСТ 20799-75	Легко нагруженные сборочные единицы трения, механизмы, работающие со скоростью на шейке 3-4,5 м/с
Индустриальное 12 (веретенное 2), ГОСТ 20799-75	Механизмы, работающие со скоростью до 3 м/с. Гидросистемы с давлением до 6 МПа, поршневая группа компрессоров
Индустриальное 20 (веретенное 3), ГОСТ 20799-75	Механизмы, работающие при средних нагрузках и повышенных скоростях. Гидросистемы станков и других механизмов
Индустриальное 30 (машинное Л), ГОСТ 20799-75	Металлорежущие станки со средними режимами работы (частота вращения 1000 об/мин)
Солидол синтетический УСс-2, ГОСТ 4366-76	Сборочные единицы трения, работающие при температурах до 65°C
Графитная смазка УСс-А, ГОСТ 3333-80	Тяжело нагруженные сборочные единицы трения, зубчатые передачи, ресоры, лебедки и т. п.
Смазка ЦИАТИМ-202 (универсальная тугоплавкая влагостойкая морозоустойчивая активированная), смазка УТ-ВМА, ГОСТ 6267-74	Подшипники качения закрытого типа, заполняемые смазкой при выпуске механизма, и другие сборочные единицы трения при температурах от -60 до +120°C

Таблица 25 – Смазочные материалы для тяжело нагруженных горных машин

Наименование деталей и сборочных единиц	Марка смазочного материала (основного и заменителя)		
	В зимних условиях при температуре ниже 5 °С	В летних условиях при температуре от 5 до 40°C	В летних условиях при температуре свыше 40°C
Зубчатые, червячные редукторы, коробки передач. Зубчатые колеса и подшипники приводных ходовых мостов	МТ-14п	МТ-16п, масло для промышленного оборудования ТУ 38-101-529-75	

Зубчатые открытые передачи. Рессорные листы	Графитная смазка УСсА (ГОСТ 3333-80), заменитель – солидол 80 % + графит 20%		
Неполноворотные и с поступательным движением открытые детали (серьги, подвески, оси ручных рычагов)	Пресс-солидол С (ГОСТ 4366-76), заменители – УС-1 и УС-2 (ГОСТ 1033-79)		
Пальцы рессор, направляющие отвала, поворотный круг, опоры гидроцилиндров	Пресс-солидол С, заменители – УС-1 и УС-2		УС-2, заменитель – УСсА
Среднезагруженные (до 1000 об/мин) подшипники качения, карданные шарниры, для тихоходных передач	Пресс-солидол С, заменители – УС-1 и УС-2		УС-2, заменитель – УСсА
Подшипники скольжения (окружная скорость до 2 м/с)	Индустриальное И-40А (ГОСТ 20799-75)		
Фрикционные муфты с металлическими дисками, работающими в масле	Индустриальное И-12А и И-20А		И-40А
Система гидропривода (рабочая среда)	И-12А	И-20А	И-40А
Неокрашенные обработанные детали	УС-1		УСсА, заменитель – УС-2
Стальные канаты	Канатная смазка 39у, смазка Торсиол-55 (ГОСТ 20458-75)		
Подшипники качения канатных блоков и ходовых колес, ступицы колес	Пресс-солидол С, заменители – УС-1 и УС-2		Смазка УТ-1 (ГОСТ 1957-73), заменитель – смазка ЦИАТИМ-203 (ГОСТ 8773-73)

Таблица 26 – Характеристика компрессорных масел

Показатели	Компрессорное масло М	Компрессорное масло Т
Вязкость при 100 °С: кинематическая, м ² /с условная, Па·с	8,5-14 1,7-2,2	15-21 2,3-3,0
Температура вспышки, °С	216	240
Кислотное число на 1 г масла,	0,15	0,15
Зольность, %	0,03	0,03
Стабильность к окислению	20	20
Механические примеси	0,007	0,007
Вода, кислоты, щелочи	Отсутствуют	

3 Хранение и регенерация масел

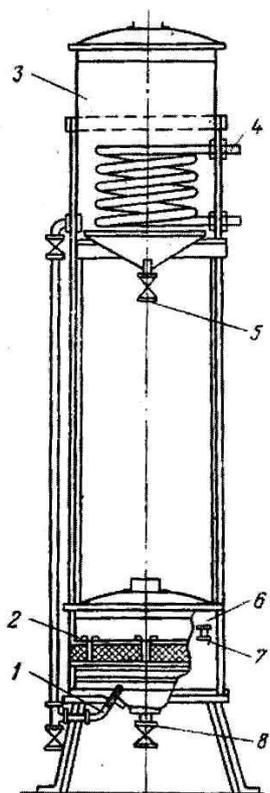


Рисунок 32 – Фильтр типа «Лилипут»: 1 – подводящая труба; 2 – фильтровальные диски; 3 – напорный бачок (отстойник); 4 – змеевик для подогрева; 5 – спускной кран; 6 – фильтровальный бак; 7 – кран для выпуска чистого масла; 8 – спускной кран

Буровое предприятие должно располагать 10-15 дневным запасом необходимых масел, смазок и горючих материалов. Смазочные масла *сохраняются* в отдельных резервуарах с соответствующей надписью на них, а мази – в бочках. Склад может быть открытым, но обязательно огорожен проволокой или ограждением.

Для перекачки масел и горючих из резервуаров необходимо иметь ручные насосы, ведра, мерные кружки и воронки. Для раздачи густой смазки применяют металлические лопаточки.

На территории склада должны быть ящики с песком и противопожарные принадлежности. Все металлические резервуары и трубопроводы должны иметь заземление.

После отработки смазок в машинах они сравнительно легко могут быть восстановлены. Масла, которые при работе не подвергаются длительному воздействию высокой температуры, т. е. такие, у которых старение заключается в загрязнении механическими примесями и влагой, могут быть восстановлены механической регенерацией (фильтрацией).

Процесс фильтрации заключается в процеживании масла через мелкопористые материалы: войлок, мелкие стружки, фильтровальное волокно и т. д.

В условиях небольшого предприятия регенерацию отработанного масла наиболее удобно производить при помощи аппарата типа «Лилипут» (рис.32).

Он состоит из двух основных частей – верхнего напорного бачка 3 и фильтровального бака 6, расположенных по высоте на расстоянии 2 м друг от друга. В верхнем бачке-отстойнике грязное масло подогревают до температуры 60-80°С и по трубам пропускают в нижнюю камеру фильтра, откуда масло под давлением разности высоты отстойника и фильтра проникает через фильтрующее устройство в верхнюю камеру, освобождаясь от механических примесей. Из верхней камеры фильтра через края профильтрованное масло выпускают в подготовленную чистую посуду. Сильно загрязненное масло фильтруют несколько раз.

Наилучшая фильтрующая среда для очистки промышленных масел – волокнистый асбест при плотности слоя 0,32 и высоте не менее 20 мм. В качестве фильтрующего материала 4-6 рядов может быть использовано шинельное сукно или мелко измолотый древесный уголь слоем около 30 мм. Производительность фильтра «Лилипут» – 50 кг за цикл, т.е. за 3-4 ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башлык С. М., Загибайло Г. Т., Зайонц О. Л. Лабораторный практикум по основам гидравлики и промывочным жидкостям. – М.: Недра, 1982 – 156 с.
2. Булатов А. И., Данюшевский В. С. Тампонажные материалы: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1987. – 270 с.
3. Булатов А. И., Пеньков А. И., Проселков Ю. М. Справочник по промывке скважин. – М.: Недра, 1984. – 317 с.
4. Буровой инструмент для геологоразведочных скважин: Справочник / Корнилов Н. И., Бухарев Н. Н., Киселев А. Т. и др. Под ред. Корнилова Н. И. – М.: Недра, 1990. – 395 с.
5. Гланц А. А., Алексеев В. В. Справочник механика геологоразведочных работ. – М.: Недра, 1987. – 444 с.
6. Зарипов С. З. Лабораторный контроль при бурении нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
7. Ивачев Л. М. Промывочные жидкости и тампонажные смеси. – М.: Недра, 1987. – 246 с.
8. Материаловедение: практикум / Под ред. Ржевской С. В. – М.: Изд-во МГГУ, 1996 – 282 с.
9. Палашкин Е. А. Справочник механика по глубокому бурению. – М.: Недра, 1981. – 510 с.
10. Справочник монтажника буровых установок / Гноевых А. Н., Лобкин А. Н., Абубакиров В. Ф. и др. – М.: ОАО «Изд-во Недра», 1997. – 491 с.
11. Справочное руководство мастера геологоразведочного бурения / Г. А. Блинов, В. И. Васильев, Ю. В. Бакланов и др. – Л.: Недра, 1983. – 400 с.
12. Тихонов Н. В., Малютин М. А. Ремонт геологоразведочного оборудования: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1985. – 246 с.
13. Шептала Н. Е. Руководство по физико-химическому анализу глинистых растворов, глин, утяжелителей и реагентов. – М.: Недра, 1974. – 152 с.
14. Шубина Н. Б. Материаловедение в горном машиностроении: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГГУ, 2000 – 272 с.
15. Филатов Б. С., Кошко И. И. Справочник по бурению структурно-поисковых и сейсморазведочных скважин. – М.: Недра, 1975 – 280 с.
16. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. – М.: Недра, 1975 – 304 с.

Учебное издание

Материаловедение
(для студентов специальности «Бурение»)

Учебное пособие

Автор: Рязанов Андрей Николаевич, доцент, к.т.н.