

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Строительство, строительные материалы и конструкции»

Утверждено на заседании кафедры
«Строительство, строительные материалы и
конструкции»

« 18 » января 2022 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой


_____ А.А. Трещев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)

«Технология отделочных и изоляционных
строительных материалов и изделий»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
08.03.01 Строительство

с направленностью (профилем)
Производство и применение строительных материалов,
изделий и конструкций

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-04-22

Тула 2022 год

Разработчик методических указаний

Сергеева С.Б., канд. техн. наук
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

Содержание

Введение	3
1. Практическое занятие № 1	4
1.1. Изготовление и испытание свойств термоперлита.....	4
2. Практическое занятие № 2	7
2.1. Изготовление и испытание свойств полистирольного пенопласта... ..	7
3. Практическое занятие № 3	20
3.1. Изготовление и испытание свойств образцов гипсоскопового фибролита.....	20
4. Практическое занятие № 4	24
4.1. Исследование влияния электролитов на текучесть и вязкость керамических шликеров	24
5. Практическое занятие № 5	
5.1. Определение удельных тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции.....	27
5.2. Определение термических свойств керамических ТИМ	33
6. Практическое занятие № 6	44
6.1. Испытание глинистого сырья для получения керамзита	44
7. Практическое занятие № 7	50
7.1. Изучение и сопоставление свойств отечественных рулонных и гидроизоляционных материалов.....	50
7.2. Окрасочные гидроизоляционные материалы.....	51
7.2.1. Общие требования к гидроизоляционным материалам	51
7.3. Приготовление и определение марки горячей битумной мастики	52
8. Практическое занятие № 8	56
8.1. Методы испытания рулонных отечественных материалов (теоретические сведения)	56
8.2. Изучение новых видов рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов, изготавливаемых в России совместно с зарубежными фирмами по рекламным материалам.....	61
Библиографический список.....	64

Введение

В методических указаниях приведены основные положения (инструкции) по выполнению восьми практических занятий.

1. Практическое занятие №1

1.1. Изготовление и испытание свойств термоперлита

Термоперлит — новый теплоизоляционный материал, состоящий из вспученного перлита и щелочных добавок. Технология изготовления включает следующие основные переделы: приготовление формовочной массы, двустороннее прессование; сушку и тепловую обработку при температуре 570...580 °С, обеспечивающую спекание частиц вспученного перлита в течение 1...1,5 ч. Термоперлит имеет плотность 150...200 кг/м³ ; прочность при сжатии 0,2...0,5 МПа, изгибе 0,15...0,25 МПа, теплопроводность 0,051...0,058 Вт/(м·°С). Максимальная температура применения 600° С.

Определение взаимосвязи между свойствами термоперлита и параметрами его изготовления методами математического моделирования.

При выполнении этой работы студенты знакомятся с технологией получения термоперлита, проводят учебно-исследовательскую работу по определению взаимосвязи между свойствами материала и параметрами его изготовления.

Исследования ведет подгруппа, которую необходимо разделить на четыре бригады по 2-3 человека. Каждой бригадой выполняется конкретная задача исследований в соответствии с планом эксперимента, представленном в таблице 1.

Таблица 1

Матрица планирования и результаты эксперимента

№ бригады	№ эксперимента	Матрица Результаты эксперимента							
		X_1	X_2	X_3	X_{II}	\bar{Y}_i	s_i^2	\dot{Y}_i	$(\bar{Y}_i - \dot{Y}_i)^2$
1	1	+	+	+					
	2	-	+	+					
2	3	+	+	-					
	4	-	+	-					
3	5	+	-	+					
	6	-	-	+					
4	7	+	-	-					
	8	-	-	-					

Эксперимент проводят на основе математического планирования, условия которого представлены в таблице 2. В качестве варьируемых факторов принимают: концентрацию щелочи в композиции X_1 , усилие прессования X_2 , температуру тепловой обработки X_3 . В качестве откликов: среднюю плотность Y_1 и прочность при сжатии Y_2 .

Таблица 2

Условия проведения эксперимента

№ п/п	Наименование фактора	Символ	Среднее значение фактора X_i	Интервал ΔX_i	Значение фактора	
					+1	-1
1	Концентрация щелочи, %	X_1	20	5	25	15
2	Давление прессования, МПа	X_2	0,18	0,07	0,25	0,11
3	Температура тепловой обработки, °С	X_3	560	20	580	540

Методика проведения работы. Каждая бригада в соответствии с номером строки в матрице планирования эксперимента (таблица 2) готовит формовочную массу из перлитового песка (диаметр 0,2...0,5 мм) и щелочи (объем замеса 1,5 дм³, В/Т = 0,3) в лабораторной мешалке принудительного действия в течение 5...7 мин. После этого приготовленную смесь укладывают в формы 10х7х21 см и подвергают прессованию с помощью пресса, оснащенного пуансоном, с усилием X_2 в течение 3...5 мин; при этом нагрузку увеличивают постепенно. После определения геометрических размеров сырца и его массы рассчитывают его среднюю плотность. Образцы помещают в сушильный шкаф и сушат до влажности 2...3 % при температуре 160...180 °С. Определяют линейные размеры образца, усадку, массу и среднюю плотность.

Термообработку осуществляют в лабораторной обжиговой печи при температуре X_3 в течение 40...45 мин.

Далее определяют геометрические размеры образцов, среднюю плотность, усадочные деформации, предел прочности при сжатии и изгибе.

Обработка результатов эксперимента. На основе полученных результатов по методике (см. первую часть) рассчитывают математические зависимости

$$Y_k = f_k(X_1; X_2; X_3).$$

Осуществляют проверку значимости коэффициентов, адекватности полученных моделей, их графическую интерпретацию. Делают выводы о влиянии варьируемых факторов на свойства термперлита, его усадочные деформации.

2. Практическое занятие №2

2.1. Изготовление и испытание свойств полистирольного пенопласта

Полистирольный пенопласт отличается небольшой плотностью, малым коэффициентом теплопроводности, сравнительно высокими прочностными показателями, низкими водопоглощением и паропроницаемостью, биостойкостью.

Сырьем для получения пенополистирола служит эмульсионный порошкообразный полистирол или суспензионный бисерный полистирол. В первом случае пенопласт получают по прессовой технологии, во втором - по беспрессовой. В России практически весь пенополистирол строительного назначения вырабатывают по беспрессовой технологии. Эта технология включает следующие основные стадии производства пенопласта: предварительное вспенивание исходного гранулята; выдержка предварительно вспененных гранул на воздухе; формование (спекание и охлаждение) гранул в изделие.

Целью данного раздела является углубление знаний студентов по теории полимерных теплоизоляционных материалов на примере полистирольного пенопласта.

Проведение этой учебной исследовательской работы планируется в два этапа. На первом этапе бригады из 3...4 человек изучают процесс предварительного вспенивания полистирола, а на втором — эти же бригады осуществляют формовку пенопласта на предварительно выдержанном в лабораторных стендах подвспененном полистироле.

Методика проведения работы

Определение гранулометрического состава вспенивающегося полистирола. Метод заключается в разделении пробы бисера полистирола на фракции в зависимости от диаметра частиц путем сухого просеивания через систему сит, установленных на вибрационной установке. Каждая фракция и вся проба характеризуются средним диаметром бисера.

Аппаратура и материалы: вибрационная установка фирмы "Динонд-Синекс", тип ML-250 S, оборудованная двигателем "Дамонт" типа VS-250, мощностью 90 Вт или любая другая установка подобного типа; комплект сит диаметром 250 мм, снабженный крышкой и поддоном; сетки сит проволочные с размером ячеек 0,4; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5мм; весы лабораторные технические грузоподъемностью 50 г с погрешностью взвешивания $\pm 0,01$ г; секундомер; стаканы химические стеклянные для взвешивания по ГОСТ 10394—72.

Проведение испытания. Среднюю пробу бисера высыпают на противень, перелопачивают шпателем или совком и отбирают 300 г бисера.

Пробу взвешивают на весах с погрешностью не более $\pm 0,01$ г.

Собирают систему сит, устанавливая их снизу вверх по возрастающей величине размера ячейки сетки сита.

Количество сит, размеры ячеек сеток выбирают в каждом случае в соответствии с таблице 3.

Таблице 3- Фракционирование полистирольного бисера

Тип бисера	Размеры ячеек, мм									
	2,5	2,0	1,6	1,25	1,0	0,8	0,63	0,5	0,4	поддон
Крупный	+	+	+	+		+		+		+
Средний			+	+	+	+		+		+
Мелкий				+	+	+	+	+	+	+

Систему сит вставляют в поддон и устанавливают на виброустановку. Навеску бисера помещают на верхнее сито, накрывают его крышкой, включают виброустановку и секундомер. По истечении 15 мин виброустановку выключают, систему сит с поддоном снимают, разбирают, начиная с верхнего. Остаток полимера с каждого сита переносят во взвешенный стакан и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

Содержание каждой фракции X_i - остаток на сите, %, вычисляют по формуле

$$X_i = \frac{m_i}{300} \cdot 100\%$$

где m_i , — масса остатка на сите, г; i — номер фракции или сита, начиная

сверху ($i=1,2,3, \dots, n$).

Сумма остатков на всех ситах должна составлять 100 %. Средний диаметр бисера каждой фракции, мм, вычисляют так:

$$\bar{d}_i = \frac{d_m + d_n}{2}$$

где d_m — диаметр ячейки сетки сита, на котором находится данная фракция, мм; d_n — диаметр ячейки сетки сита, через которое прошла данная фракция, мм.

Рассчитывая средний диаметр фракции на верхнем сите, необходимо применять в качестве d_n величину 1,25 мм для мелкого бисера, 1,00 мм для среднего бисера и условную величину 3,15 мм для крупного бисера.

Средний диаметр бисера всей взятой пробы \bar{d} , мм, вычисляют по формуле:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot \bar{d}_i}{100};$$

где X_i - содержание каждой фракции, %; \bar{d}_i - средний диаметр i -й фракции, мм; n - число фракций, полученных в результате отсева.

За результат принимают среднеарифметическое двух параллельных определений.

Пример расчета фракционного состава среднего диаметра фракций всей пробы для крупного бисера. Рассев проводят на системе сит (снизу вверх): поддон - 0,5 - 0,8 - 1,25 -- 1,6 - 2,0 - 2,5. Полученные данные заносят в таблицу 3.

Таблица 3

Средний диаметр фракций бисера

№ фракции	Наименование показателя			
	Размер ячеек сит, мм	Остаток на сите, г	Содержание фракции, %	Средний диаметр частиц, мм
1	2,5	2,4	0,8	$(3,15+2,5)/2=2,82$
2	2,0	39,2	13,3	$(2,5+2,0)/2=2,25$
3	1,6	119,4	39,8	$(2,0+1,6)/2=1,8$
4	1,25	93,0	31,0	$(1,6+1,25)/2=1,425$
5	0,8	44,4	14,8	$(1,25+0,8)/2=1,025$

6	0,5	0,6	0,2	$(0,8+0,5)/2=0,65$
7	поддон	0,3	0,1	$(0,5+0,315)/2=0,407$

Средний диаметр всей фракции пробы, мм:

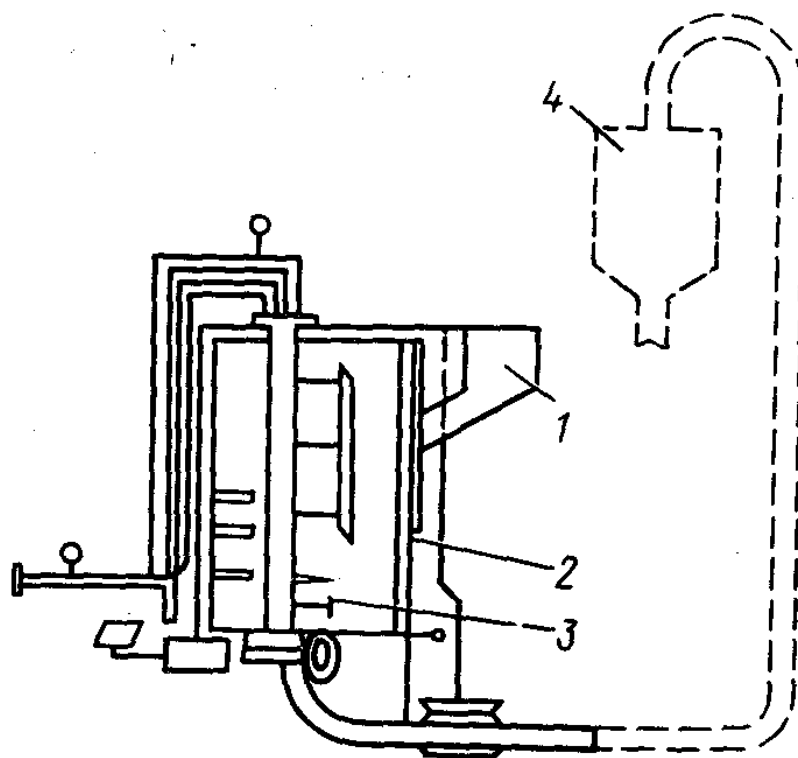
$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot \bar{d}_i}{100};$$

Предварительное вспенивание гранул полистирола осуществляют путем тепловой обработки гранул в свободном объеме для достижения требуемой насыпной плотности. В процессе тепловой обработки при нагревании до температуры, превышающей температуру стеклования, полимер переходит в эластичное состояние, а вспенивающий агент испаряется, что приводит к расширению гранул. Лишь 50 % расширения гранул обеспечивается за счет испарения вспенивающего агента, а остальное расширение происходит вследствие проникновения в ячейки гранул теплоносителя - водяного пара или воздуха.

Степень расширения гранул зависит от гранулометрического состава полистирола, содержания вспенивающего агента, вида и температуры теплоносителя и продолжительности его воздействия. Основными задачами исследования процесса предварительного вспенивания является подбор оптимальной температуры и продолжительности нагревания.

Процесс предварительного вспенивания полистирольных гранул проводится в аппарате периодического действия, представляющем собой вертикальную цилиндрическую емкость, снабженную мешалкой и рассчитанную на эксплуатацию при избыточном давлении пара до 0,05 МПа или в автоклаве.

Перед началом работы предвспениватель (рисунок 1) приводят в рабочее состояние следующим образом.



1, 4 - бункера; 2 - раздвижной люк; 3 - мешалка

Рисунок 1- Схема предвспенивателя

При остановленной мешалке камеру аппарата тщательно очищают струёй сжатого воздуха от налипших комков предвспененного полимера. Затем задают рабочие параметры предспенивания таким образом, чтобы в работающем вхолостую аппарате поддерживались следующие условия: скорость вращения мешалки (40 ± 2) мин; температура внутри аппарата, °C: 100 ± 2 ; 95 ± 2 ; 110 ± 2 .

После установления заданных параметров и при отсутствии образования конденсата отобранную среднюю пробу в количестве 50...100 г помещают в бункер.

Одновременно с включением секундомера через бункер 1, расположенный над верхней направляющей, пробу вводят в камеру предвспенивателя. При этом уровень направляющей регулируют таким образом, чтобы бисер находился в камере аппарата. Время составляет 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 мин. По окончании процесса быстро открывают раздвижной люк 2 и содержимое камеры переносят в бункер созревания 4. После этого мешалку останавливают, аппарат открывают и с помощью струи сжатого воздуха чистят, удаляют агломерат предвспененных частиц, которые могут образовываться на

лопастях мешалки 3 и отбойниках.

Показателем степени расширения является коэффициент вспенивания K , определяемый отношением объема предварительно вспененных гранул к исходному объему гранул.

С увеличением продолжительности вспенивания коэффициент вспенивания увеличивается. Наряду с этим определяют насыпную плотность ρ (г/дм³) предвспененных полистирольных гранул следующим образом.

Чистый сосуд вместимостью 2 дм³ взвешивают на весах с погрешностью до 0,1 г. Сосуд полностью заполняют предвспененным бисером. Содержимое сосуда уплотняют путем аккуратного постукивания по дну и стенкам. После этого сосуд взвешивают и, зная его массу без полимера, подсчитывают массу 2 дм³ предвспененного бисера, а затем рассчитывают его насыпную плотность, г/дм³:

$$X = (m_i - m) / 2,$$

где m_i - масса сосуда с предвспененным полимером, г; m - масса пустого сосуда, г.

За результат анализов принимают среднеарифметическое значение двух параллельных определений насыпной массы, причем расхождение между этими значениями не должно превышать 1 г/дм³.

В противном случае проводят третье определение и за результат анализа принимают среднеарифметическое трех определений.

Если насыпная масса предвспененного полимера не соответствует требуемой, то проводят повторное предвспенивание, меняя время предвспенивания.

Результаты исследований помещают в таблицы 4 и 5.

Таблица 4

Зависимость $K_{всп}$ и ρ от продолжительности предварительного вспенивания полистирольных гранул различных фракций

Фракционный состав	Продолжительность вспенивания										
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблица 5

Зависимость ρ от температуры предвспенивания смеси фракций полистирольных гранул, взятых в соотношениях 1:1 по массе

t, °C	Продолжительность вспенивания, мин										
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

По этим результатам строят следующие графические зависимости:

- 1) коэффициента вспенивания от продолжительности тепловой обработки при различных температурах, по которой определяют оптимальную температуру;
- 2) насыпной плотности от продолжительности вспенивания при оптимальной температуре, по которой определяют минимально достижимую насыпную плотность;
- 3) кинетику предварительного вспенивания гранул полистирола при оптимальной температуре, по которой определяют минимально-оптимальную продолжительность процесса.

Вылеживание предварительно вспененных гранул на воздухе. После окончания процесса предварительного вспенивания гранулы полистирола в течение определенного времени выдерживают на воздухе при температуре 20...25 °C.

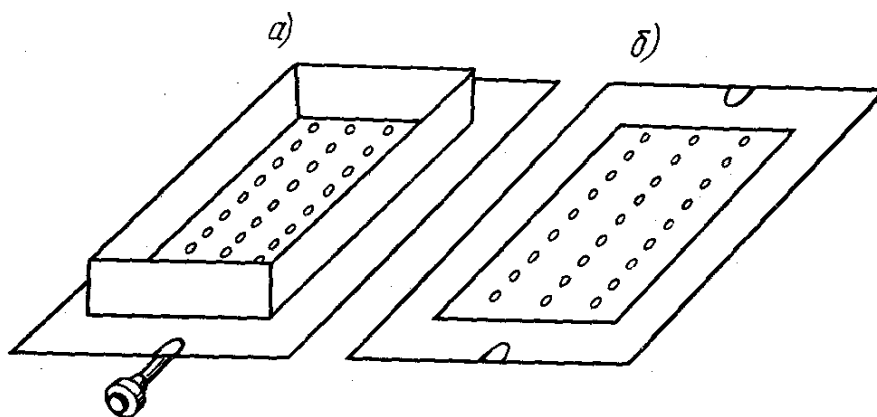
Необходимость стадии вылеживания вспененных гранул обусловлена недостаточным количеством остаточного вспенивающего агента в предвспененных гранулах при достижении насыпной плотности 40 кг/м³ для эффективного вспенивания и спекания таких гранул в процессе формования. В процессе вылеживания воздух проникает в ячейки предвспененных гранул и вместе с остаточным порообразователем обеспечивает необходимую вспенивающую способность в процессе формования. Продолжительность вылеживания зависит от насыпной плотности предвспененных гранул. Максимальное время вылеживания при температуре 20...25 °C в зависимости от плотности предвспененного материала составляет 4...6 сут. Минимальный период вылеживания равен 10...12 ч при насыпной плотности вспененных

гранул 10...15 кг/м³; 8...10 ч при плотности 16...20 кг/м³; 6...8 ч при 20...25 кг/м³; 3...5 ч при 25...30 кг/м³ и менее 2 ч при насыпной плотности свыше 30 кг/м³.

Вылеживание предвспененных гранул осуществляют на стенде, представляющем собой легкую металлическую конструкцию, в которой укреплены перфорированные поддоны с уложенными на них предвспененными гранулами. К поддонам обеспечивается свободный доступ воздуха.

Предвспененные гранулы следует разделить на 3 части в соответствии с их насыпной плотностью: 1) более 30 кг/м³; 2) 20...30 кг/м³; 3) менее 20 кг/м³.

Формование полистирольного пенопласта должно быть проведено на следующем занятии.



а- рабочий объем формы; б- крышка формы.

Рисунок 2- Форма для получения пенополистирола

Формование полистирольного пенопласта. Суть этой основной технологической стадии процесса получения пенополистирола заключается в тепловой обработке предвспененных и выдержанных требуемое время на воздухе гранул, помещенных в замкнутую форму (рисунок 2).

В результате тепловой обработки при температуре, превышающей температуру стеклования полимера, давление газовой смеси порообразователя и воздуха достигает величины, достаточной для растяжения стенок пор полимерной основы, вследствие чего объем гранул увеличивается и они спекаются друг с другом. За счет сплавления гранул образуется однородная масса с равномерной ячеистой структурой, которая затвердевает после охлаждения, сохраняя неизменными структуру и конфигурацию,

соответствующую конфигурации формы.

Наиболее экономичным и удобным теплоносителем при формировании пенополистирола является водяной пар. Существуют два основных метода формирования полистирольного пенопласта с помощью водяного пара: автоклавный и теплового удара. При формировании способом теплового удара продолжительность процесса спекания составляет 30...60 с. Формование проводят в металлических перфорированных пресс-формах. Величина окончательного давления пара составляет 0,14...0,2 МПа, что соответствует интервалу температур 110...120 °С. После сброса давления до атмосферного отформованный образец подвергают естественному охлаждению в форме, длительность которого ориентировочно составляет 1...2 мин на 1 см толщины изделия. Отформованный материал после извлечения из формы выдерживают на воздухе для окончательной стабилизации размеров и выравнивания внутренних напряжений, температуры и давления по объему, после чего их необходимо.. разрезать на образцы для исследования свойств.

Физико-механические свойства. При испытании пенополистирола на сжатие хрупкое разрушение отсутствует и четко выраженного предела прочности не наблюдается, в связи с чем этот показатель определяется условно как напряжение, соответствующее 10 %-ной относительной деформации материала.

Метод испытаний. Плиты перед изготовлением образцов для испытаний должны быть выдержаны не менее 3 ч при температуре $(22 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Испытания образцов проводят в помещении с температурой воздуха $(22 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажностью $(50 \pm 5) \%$ после предварительной выдержки их при этих же условиях не менее 5 ч.

Длину и ширину плит измеряют линейкой по ГОСТ 427—75* в трех местах: на расстоянии 50 мм от края и посередине плиты. Погрешность измерения - не более 1,0 мм.

Толщину плит измеряют штангенциркулем по ГОСТ 165—81* в девяти местах: по три измерения с каждой стороны на расстоянии 50 мм от края плиты

и посередине грани. Погрешность измерения — не более 0,1 мм. За толщину принимают среднее арифметическое значение измеренной плиты.

Для определения разности диагоналей измеряют длины двух диагоналей на наибольшей грани плиты рулеткой по ГОСТ 7502-80*. За результат измерения принимают значение разности диагоналей плиты.

Притупленность ребер и углов определяют измерительным инструментом с погрешностью не более 1,0 мм.

Длину, ширину и высоту (глубину) выпуклостей или впадин плит измеряют двусторонним штангенциркулем с глубомером по ГОСТ 162-80*.

Отклонение от плоскости плит определяют путем приложения ребра линейки к грани плиты и измерения другой линейкой зазоров между поверхностью плиты и ребром приложенной линейки. За показатель неплоскостности поверхности плиты принимают наибольшую из измеренных величин зазоров.

Определение плотности. Сущность метода заключается в определении массы единицы объема плиты.

Аппаратура: весы с погрешностью не более 5 г; линейка по ГОСТ 427-75* для измерения длины и ширины; штангенциркуль по ГОСТ 166—80* для измерения толщины.

Проведение испытаний. Отобранные плиты взвешивают с погрешностью не более 0,5 %. Затем определяют геометрические размеры плит.

Плотность плиты ρ , кг/м³:

$$\rho = \frac{m}{V(1 + 0,01 \cdot W)};$$

где m - масса плиты, кг; V - объем плиты, м³; W - влажность плиты.

За результат испытаний принимают среднеарифметическое значение всех определений, округленное до 0,1 кг/м³.

Определение прочности на сжатие при 10%-ной линейной деформации. Сущность метода заключается в определении величины сжимающего усилия, вызывающего деформацию образца по толщине на 10 % при заданных условиях испытания.

Для определения прочности на сжатие при 10 %-ной линейной деформации отобранных плит выпиливают по три образца размером $(50 \times 50 \times 50 \pm 0,5)$ мм (один из середины и два на расстоянии 50 мм от края плиты).

Если толщина плиты, из которой изготавливают образцы, меньше 50 мм, то высота образцов принимается равной толщине плиты.

Допускается использовать образцы, на которых определялась влажность плиты.

Аппаратура: испытательная машина, обеспечивающая измерение нагрузки с погрешностью, не превышающей 1 % от величины сжимающего усилия, и постоянную скорость нагружения образца 5...10 мм/мин. Испытательная машина должна иметь самоустанавливающуюся опору и систему измерения перемещений зажимов, обеспечивающую измерение деформаций с погрешностью не более 0,2 мм (металлическая линейка по ГОСТ 427—75*).

Проведение испытаний. Измеряют линейные размеры образца. Затем образец устанавливают на опорную плиту машины таким образом, чтобы сжимающее усилие действовало по оси образца. Нагружение образцов проводят до достижения нагрузки, соответствующей 10 %-ной линейной деформации, причем нагружение образца проводят в направлении толщины плиты, из которой он был выпилен.

Прочность на сжатие при 10 %-ной линейной деформации $R_{сис}$, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сис} = \frac{P}{l \cdot b} 10^{-6}$$

где P — нагрузка при 10 %-ной линейной деформации, Н; l — длина образца, м; b — ширина образца, м.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение параллельных определений прочности плит, округленное до 0,01 МПа.

Определение водопоглощения. Сущность метода заключается в определении массы воды, поглощенной образцами сухого материала после полного погружения их в дистиллированную воду и выдерживания в ней в течение

заданного времени.

Аппаратура и материалы: технические весы с погрешностью взвешивания не более 0,01 г; сушильный шкаф с температурой нагрева до 100 °С, обеспечивающий поддержание заданной температуры с погрешностью не более 2 °С; эксикатор; ванна, имеющая сетчатые подставку и пригруз; хлористый кальций безводный; дистиллированная вода; штангенциркуль.

Отбор образцов. Для определения водопоглощения из отобранных плит выпиливают по одному образцу размером (50X50X50± ±0,5) мм. Если высота образца меньше 50 мм, то толщина его принимается равной толщине плиты. Длину, ширину и толщину образцов измеряют не менее чем в трех точках с погрешностью не более 0,1 мм.

Перед проведением испытаний образцы высушивают при температуре (60 ±2) °С не менее 3 ч, затем охлаждают в эксикаторе не менее 0,5 ч и взвешивают с погрешностью 0,01 г.

Образцы помещают в ванну на сетчатую подставку и фиксируют их положение сетчатым пригрузом. Затем в ванну заливают воду с температурой (22 ±5) °С так, чтобы уровень воды был выше сетчатого пригруза не менее чем на 20 мм.

Через 24 ч после залива воды образцы вынимают, протирают фильтровальной бумагой и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

Водопоглощение W в процентах по объему вычисляют по формуле

$$W_{\text{с}} = \frac{m - m_0}{V - V_{\text{с}}} 100;$$

где m — масса образца после выдерживания его в воде, г; m_0 — масса образца до погружения в воду, г; V — объем образца после выдерживания в воде, см³; $V_{\text{в}}$ — объем образца до погружения в воду, см³.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение параллельных определений водопоглощения плит, округленное до 0,1 %.

Определение прочности при изгибе. Сущность метода заключается в определении величины усилия при изгибе образца, вызывающего его

разрушение при заданных условиях испытания.

Отбор образцов. Для определения предела прочности при изгибе из отобранных плит выпиливают по два образца размером $(240 \times 40 \times 40 \pm 1)$ мм (один из середины, другой - на расстоянии 50 мм от края плиты). Если отобранные плиты имеют толщину менее 40 мм, то высота образца должна быть равной толщине плиты.

Аппаратура, оборудование, инструменты: испытательная машина, обеспечивающая скорость нагружения образца 8...10 мм/мин и снабженная устройством с нагружающим индентором и опорами, имеющими радиус закругления $(6 \pm 0,1)$ мм. Расстояние между осями опор должно быть (200 ± 1) мм; штангенциркуль по ГОСТ 166-80* или металлическая линейка по ГОСТ 427-75*.

Проведение испытания. Перед испытанием измеряют не менее чем в трех точках ширину и толщину образца с погрешностью не более 0,1 мм. Образец помещают на опоры так, чтобы плоскость образца касалась опор по всей ширине, а концы образца выходили за оси опор не менее чем на 20 мм. При этом высота образца должна совпадать с направлением его нагружения.

В момент разрушения фиксируют разрушающую нагрузку.

Обработка результатов. Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа, вычисляют по формуле

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2} 10^{-6}$$

где P — разрушающая нагрузка, Н; l — расстояние между осями опор, м; b — ширина образца, м; h — толщина образца, м.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение параллельных определений прочности, округленное до 0,01 МПа.

Теплопроводность определяют по ГОСТ 7076—87 на образцах, выпиленных по одному из середины отобранных плит.

3. Практическое занятие №3

3.1. Изготовление и испытание свойств образцов гипсоскопового фибролита

1. Цель работы

Приобретение практических навыков по изготовлению теплоизоляционного материала - фибролита на основе гипсоскоповой композиции состава.

2. Теоретические сведения

Фибролитом называют теплоизоляционный материал, изготавливаемый на основе минерального вяжущего, целлюлозно-волокнутого наполнителя и добавки - минерализатора. В качестве минерального вяжущего рекомендуется применять: портландцемент, гипс, известь, каустический магнезит и др.

Целлюлозно-волокнустый наполнитель, например, древесная шерсть, способствует снижению средней плотности и теплопроводности. Минеральное вяжущее обеспечивает теплоизоляционным материалам (фибролиту) необходимую механическую прочность, повышает огнестойкость. Минерализатор повышает огне- и биостойкость, а также влияет на сроки схватывания.

В качестве минерализаторов применяется преимущественно хлористый кальций и реже известь.

В отечественной практике выпускается преимущественно цементный фибролит, отвечающий требованиям ГОСТ 8928-81 /3/.

В состав композиционной смеси, приготовляемой в процессе выполнения данной лабораторной работы вводят в качестве минерального вяжущего полуводный гипс марки Г-4 или Г-5, целлюлозноволокнутого наполнителя скоп - осадок сточных вод картонного производства.

Вещественный состав сухого скопа включает, масс, %:

целлюлозное волокно - 45-50

каолин - 47-53

канифоль - 2-3

Насыпная плотность сухого скопа 450 - 500 кг/м³.

В качестве минерализатора и замедлителя схватывания используется

известьесодержащий компонент, например, химического осаждения мела, получаемый как попутный отход производства мела. Химический состав осадка от химического осаждения мела, включает, масс, %:

2-4; 30-45; 50-57.

В качестве известьесодержащего минерализатора рационально применять и феррованадиевый шлак - отход производства феррованадия при вторичной переработке этого шлака. Состоит преимущественно из CaO .

Химический состав феррованадиевого шлака, масс, %:

28,4 - 28,8; 5,08 - 6,29;

56,8 - 57,3; 7,2 - 7,4;

0,32 - 0,5 0,52 - 0,6;

0,18 - 0,19; остальное.

В состав формуемой методом литья массы, вводят вышеуказанные компоненты, при следующем их соотношении, масс, %:

полуводный гипс 8 - 12,5;

скоп (сухой) 7 - 9;

известьесодержащий замедлитель схватывания 2 - 3;

вода (с учетом воды, введенной с влажным скопом) 77,5 - 81.

Отдозированные весовым методом компоненты перемешивают до получения однородной массы. Из полученной массы формируют методом литья фрагменты полуфабрикаты теплоизоляционного материала. Сушат изделия до остаточной влажности 6 %, а затем определяют их свойства в соответствие с требованиями ГОСТ .

3. Объекты и средства для выполнения лабораторной работы

3.1. Материалы: шламообразный скоп с влажностью 75-85 % масс, % и с концентрат-иней сухого остатка соответственно 15 - 25 масс, %; гипс полуводный: марки Г4 или Г5; феррованадиевый шлак с насыпной плотностью 900 - 950 кг/м³;
вода (питьевая).

3.2. Средства для приготовления композиционной смеси:

весы - 3 шт;

емкости для перемешивания компонентов - 3 шт;

металлические формы размером 60 x 15 x 15 см - 3 шт;

мерные цилиндры емкостью 500 мл - 3 шт;

металлический стержень - 3 шт.

4. Подготовка к работе

Группа студентов делится на три бригады. Каждая бригада prepares композиционную формовочную смесь состава, указанного в таблице.

Перед выполнением работы студенты обязаны изучить настоящие методические указания, а также убедиться в наличии необходимых материалов, аппаратуры и средств для проведения лабораторной работы.

5. План проведения работы

5.1. Дозируются весовым методом вышеуказанные компоненты из расчета получения 10 кг формуемой композиционной смеси. Соотношение компонентов и воды принимается в соответствии с данными таблицы 7.

5.2. Отдозированные компоненты помещают в чашу и тщательно перемешивают до получения однородной массы. Однородную шламообразную смесь заливают в формы размером 60 x 15 x 15 см послойно в три этапа. Каждый слой уплотняют с помощью металлического стержня методом штыкования.

5.3. После схватывания смеси, формы распалубливают и полуфабрикаты ТИМ помещают в сушилку, соблюдая следующий режим сушки:

3 ч при 130 - 150 °С. 5 ч при 80 °С, и оставшееся время до получения остаточной 6 %-ной влажности при температуре не выше 65 ± 5 °С.

5.4. Высушенные до остаточной влажности теплоизоляционные образцы изделий испытывают в соответствии с требованиями ГОСТ 8928-81 /3/ на последующем занятии лабораторного практикума.

Состав формовочной смеси

№ бригады	Состав компонентов							
	Полуводный гипс		Скоп(сухой)		Феррованадиевый шлак		Вода с учетом введенной с влажным	
	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг
1	8	0,8	9	0,9	2	0,2	81	8,1
2	9,5	0,95	8	0,8	2,5	0,25	79	7,9
3	12,5	1,25	7	0,7	3,0	0,3	77,5	7,75

6. Контрольные вопросы

При защите лабораторной работы могут быть заданы следующие контрольные вопросы.

1. Почему данный тип теплоизоляционного материала можно отнести к фибролиту?
2. Какую роль выполняет феррованадиевый шлак в составе композиционной смеси?
3. Какой метод поризации теплоизоляционного материала принят при изготовлении данной композиционной смеси?
4. Почему сформованные полуфабрикаты рекомендуется сушить в начале при высокой температуре 130 - 150 °С, а затем при температуре не выше 65 ± 5 °С?
5. Назовите области применения фибролита в строительстве.

Литература

1. В.И.Игнатов, М.И.Горбачева, Э.Г.Кратенко, Г.Г.Рябов и др. Композиция для изготовления теплоизоляционного материала. А.С. СССР № 1301810 А1, МКИ СОЧВ 28/14, Бюл. № 13 опубл. 7.04.87.
2. ГОСТ 8928-81. Плиты фибролитовые на портландцементе.

4. Практическое занятие №4

4.1. Исследование влияния электролитов на текучесть и вязкость керамических шликеров

1. Цель работы

- 1.1. Изучить методику определения текучести и вязкости керамического шликера с применением вискозиметра "ВЗ-4"
- 1.2. Изучить влияние концентрации электролита на текучесть и вязкость шликера.
- 1.3. Установить оптимальную концентрацию электролита для достижения минимальной текучести.

2. Теоретические сведения

Для определения текучести и вязкости шликеров в производстве керамических изделий применяют различные методы, предполагающие использование вискозиметров различных конструкций Энглера, Коля, торсионного и шарикового типов. Первые, широко применяемые при анализах текучести и вязкости шликеров, дают лишь качественную характеристику вязкости шликера и не определяют истинной величины его вязкости. Последние два дают истинные величины вязкости. Однако их использование связано со значительными техническими трудностями.

В основу данного скоростного метода определения текучести и соответствующей вязкости шликера в лабораторных и производственных условиях положено уравнение Пуазейля:

$$V = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} P \cdot \tau;$$

где V - объем;

r - радиус капилляра вискозиметра,

η – вязкость жидкости;

l - длина капилляра вискозиметра;

P - давление;

τ - время истечения жидкости.

Преобразуя уравнение по методике, получают формулу для определения вязкости различных жидкостей, в том числе и керамического шликера:

$$\eta = \frac{\tau \cdot d^2 \cdot \rho \cdot q}{32 \cdot H};$$

где η - вязкость в пуазах;

1 пуаз = $0,1 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2 = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ("СИ");

τ - время истечения жидкости, с;

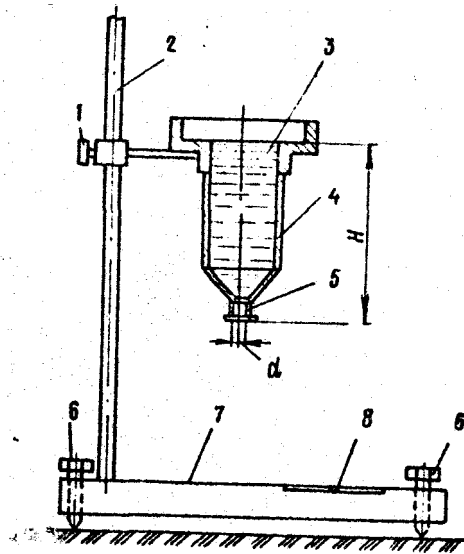
d - диаметр отверстия вискозиметра (0.4 см);

ρ - плотность жидкости (шликера);

H - высота резервуара вискозиметра "ВЗ-4", см;

q - ускорение силы тяжести ($980.66 \text{ см} / \text{с}^2$).

На рисунке 3 приведена схема вискозиметра "ВЗ-4"



1 - винт штатива, 2 - штатив; 3 - шликер; 4 - резервуар; 5 - сопло; 6 - регулировочный винт уровня; 7 - плита; 8 - уровень

Рисунок 3- Вискозиметр "ВЗ-4"

3. Приборы и оборудование

Вискозиметр "ВЗ-4"; стеклянная палочка; секундомер; колбы для электролита - 10 шт.; емкости (пластмассовые бутылки с пробками) - 11 шт.

4. Материалы

1. Сухой порошок глины, просеянный через сито с диаметром отверстий 1.25 мм.

2. Растворы электролита (NaOH или KOH) с возрастающей процентной концентрацией (10 порций по 200 мл).

Концентрации: 0,05% (0,1г на 200 мл воды). ОД% (0,2 г/200 мл НдО);

0,15% (0,3 г/200 мл H⁺O);

0,2% (0,4 г/200 мл H₂O); 0,25% (0,5 г/200 мл H₂O);

0,3% (0,6 г/200 мл H₂O); 0,35% (0,7 г/200 мл H₂O);

0,4% (0,8 г/200 мл H₂O); 0,45% (0,9 г/200 мл H₂O);

0,5% (1 г/200 мл H₂O).

3. Дистиллированная вода для приготовления растворов - 2,2 л.

5. Методика выполнения работы

5.1. Приготовление растворов электролитов (10 порций по 200 мл).

Растворы приготавливают в стеклянных колбах за 1-2 часа до начала занятий (приготавливает лаборант в соответствии с п.4).

5.2. Сухой порошок глины, высушенный до постоянной массы и просеянный через сито с диаметром отверстий 1.25 мм, взвешивают (по 100 г - 11 порций). Каждую порцию глины засыпают через воронку в сухую пластмассовую бутылку и заливают раствором электролита с определенной концентрацией. В количестве 200 мл из расчета получения керамического (глиняного) шликера с влажностью 50%. В первую порцию глины заливают дистиллированную воду без электролита (контрольный состав) Шликер в емкостях закрывают пробкой, хорошо взбалтывают и оставляют на 1 -2 недели. Все 11 порций шликера нумеруются с указанием концентрата электролита.

5.3. Через неделю или две определяется плотность шликера (хорошо перемешать) по уравнению:

$$\rho_{ш} = \frac{m_1 - m_0}{V}, \text{ г/см}^3$$

где m_1 - масса шликера с мерным цилиндром, г;

m_0 - масса пустого цилиндра, г;

V - объем шликера в цилиндре, мл (см³).

Таблица 7

Результаты определения текучести и вязкости керамических шликеров
без (состав №1) и с добавлением электролита

№ опытного шликера	Концентрация электролита, %	Плотность шликера, ρ г/см ³	Текучесть шликера, τ , с	Вязкость шликера, Па·с	Тип глины (легкоплавкая, тугоплавкая, область месторождения)
1	Контр.				
2	0.05				
3	0.10				
4	0.15				
5	0.20				
6	0.25				
7	0.30				
8	0.35				
9	0.40				
10	0.45				
11	0.50				

6. Анализ исследования

6.1. По данным результатам экспериментального исследования, приведенных в таблице, проводят анализ и устанавливают оптимальную концентрацию раствора электролита для керамического шликера с влажностью 50%. Оптимальная концентрация соответствует минимальному времени истечения шликера и наименьшей вязкости.

5. Практическое занятие №5

5.1. Определение удельных тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции

Наиболее полное представление о качестве теплоизоляционных конструкций дают величины удельных тепловых потерь с поверхности тепловой изоляции, для измерения которых применяют один из двух методов: косвенный, основанный на измерении разности температур между

поверхностью изоляции и окружающим воздухом; метод непосредственного измерения теплового потока с помощью специальных приборов - тепломеров.

В основу косвенного метода измерения тепловых потерь положен закон Ньютона, в котором говорится о том, что теплоотдача с поверхности какого-либо тела прямо пропорциональна разности температур нагретого тела и окружающей среды.

Сущность косвенного метода сводится к тому, чтобы измерить температуру поверхности тепловой изоляции и окружающего воздуха, т. е. определить среднюю разность температур изоляции и окружающей среды.

Среднюю температуру изоляции определяют измерением ее в четырех выбранных точках с помощью термощупов и вычислением как средней арифметической величины по результатам этих измерений.

Температуру окружающего воздуха измеряют на расстоянии 1—1,5 м от поверхности испытуемой теплоизоляционной конструкции.

После проведения необходимых измерений удельный тепловой поток (Вт/м^2) вычисляют по следующим формулам: $q = \alpha(t_n - t_v)$ - для плоских поверхностей; $q = \alpha \cdot \pi \cdot d_n \cdot (t_n - t_v)$ - для цилиндрических поверхностей, где t_n — средняя температура поверхности изоляции, °С; t_v - температура окружающего воздуха, °С; d_n - наружный диаметр теплоизоляционного слоя, м; α - коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$, определяют по табличным данным или по формуле

Пример. Определить тепловые потери с 1 м трубопровода в котельной, если известно, что диаметр трубопровода 318 мм, толщина слоя тепловой изоляции 100 мм; температура воздуха в котельной 20° С, а средняя температура поверхности изоляционного слоя составляет 47° С. 1. Определяем коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = 1,43(47 - 20)^{1/3} + 4,2 \frac{\left(\frac{47 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100}\right)^4}{47 - 20} = 7,42 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$$

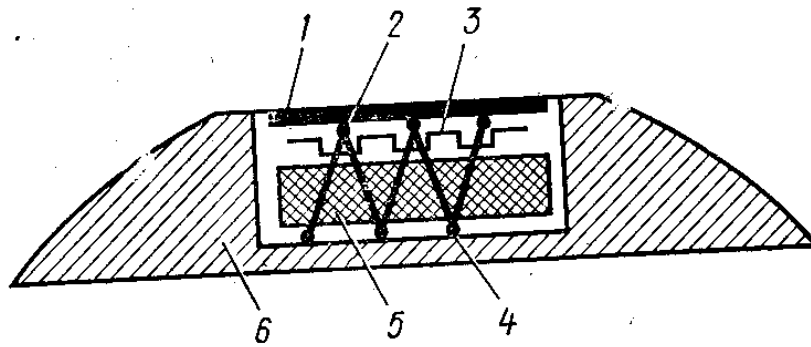


Рисунок 4- Схема датчика тепломера ИТП-2

2. Вычисляем удельные тепловые потери с поверхности изоляции трубопровода

$$q = \alpha \cdot \pi \cdot d_n \cdot (t_n - t_v) = 7,42 \cdot 3,14 \cdot 0,518 \cdot 27 = 326 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$$

Непосредственное измерение теплового потока (тепловых потерь) лучше всего производить с помощью малоинерционных тепломеров конструкции ОРГРЭС или ВНИИПИТеплопроекта.

Малоинерционный тепломер конструкции ОРГРЭС типа ИТП-2 служит для измерения плотности тепловых потоков от тепловой изоляции, неизолированных горячих поверхностей и других нагретых тел. Его принцип действия основан на создании в нагревательном элементе плотности теплового потока, равной по величине плотности теплового потока, идущего от испытываемой поверхности, т. е. на методе компенсации теплового потока.

Равенство плотностей тепловых потоков нагревательного элемента и испытываемой поверхности обеспечивается уравниванием их температур при прочих равных условиях теплоотдачи.

Тепломер ИТП-2 состоит из датчика и вторичного прибора.

Датчик тепломера (рисунок 4) состоит из высокотемпературопроводного (алюминиевого) корпуса 6, в котором на теплоизолирующей прокладке 5 размещены нагреватель 3, выполненный из манганиновой проволоки, и батарея дифференциальных термопар, спаи которой 2 и 4 расположены по обе стороны теплоизолирующей прокладки.

Нагреватель 3 и спаи дифференциальной термопары 2 закрыты теплопроводной медной пластинкой 1, являющейся собственно нагревателем

тепломера. Спаи дифференциальной термопары 4 расположены под термоизолирующей прокладкой, на корпусе датчика. Таким образом, батарея дифференциальных термопар показывает наличие или отсутствие разности температур между корпусом датчика и нагревательным элементом.

В комплект тепломера входят два датчика. Датчик в виде диска со скошенными краями применяется при измерении плотности теплового потока от плоских поверхностей. Он с помощью пружинящего приспособления («вилки») соединен с рукояткой держателя и через штекерный разъем присоединен к вторичному прибору. Датчик в виде диска с некоторым радиусом кривизны на нижней плоскости применяют при измерении плотности теплового потока от цилиндрических и других выпуклых поверхностей. Резиновая пластина, в которую вставлен датчик, имеет по краям специальное приспособление («ушки»), служащее для закрепления датчика на объекте исследования. Датчик через штекерный разъем присоединяют к вторичному прибору, схема которого показана на рисунке 5.

Для питания нагревателя датчика 2 установлен источник постоянного тока 4, представляющий собой три батареи типа «Сатурн». Для измерения силы тока, проходящего через нагреватель, в цепь последовательно включен миллиамперметр 8. Регулировка силы тока осуществляется реостатами 5. Батарея дифференциальных термопар подключена непосредственно к нуль-гальванометру 10. Датчик соединяется с вторичным прибором штекерным разъемом.

Исходя из выбранных пределов измерений 0—116 или 0—580 Вт/м²·°С, площади нагреваемого элемента (6 см²) и сопротивления (25 Ом), устанавливают пределы измерения миллиамперметра, которые соответственно равны 52,9 и 118,2 мА. Для обеспечения этих пределов с учетом характеристики миллиамперметра подобраны дополнительные сопротивления 6 и шунтовое сопротивление 3.

Для подачи питания и закорачивания рамки нуль-гальванометра установлен переключатель 9, а для изменения пределов измерения —

переключатель 7.

Измерение плотности теплового потока с помощью тепломера ИТП-2 производят следующим образом.

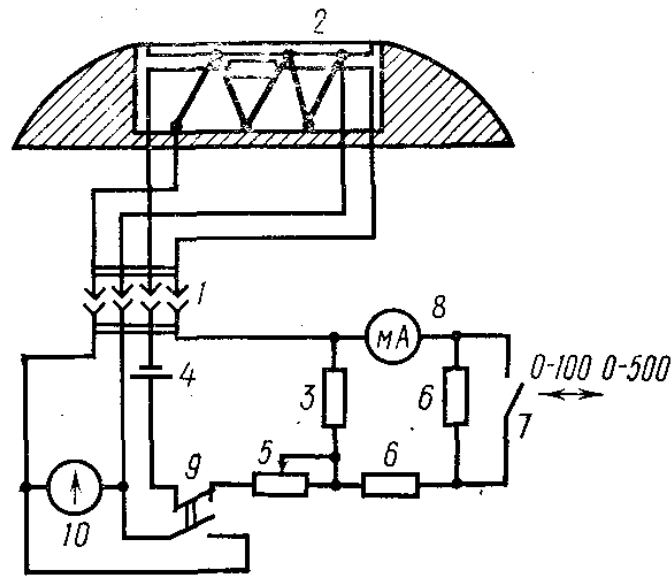


Рисунок 5- Схема вторичного прибора тепломера ИТП-2

Датчик тепломера с помощью штекерного разъема подключают к вторичному прибору. При положении переключателя 9 «выключено» проверяют положение стрелки нуль-гальванометра и в случае необходимости устанавливают ее на 0. Переключатель 7 устанавливают на предел измерения, соответствующий ожидаемому тепловому потоку.

На плоских поверхностях или поверхностях с большим (более 2 м) радиусом кривизны измерения производят плоским датчиком, который с помощью держателя прижимают нижней плоской частью к исследуемой поверхности. После установки датчика переключатель 8 переводят в положение «включено».

На поверхностях с малым радиусом кривизны измерения производят с помощью датчика с резиновой пластинкой. Для этого датчик накладывают на поверхность изоляции так, чтобы кривизна нижней части датчика совпадала с кривизной поверхности изоляции. Затем резиновую пластинку с помощью ушек плотно крепят (привязывают) к исследуемому объекту.

При наложении датчика на нагретую поверхность

высокотемпературопроводный корпус датчика быстро нагревается до температуры, которую имеет поверхность изоляции. Вследствие разницы температур между корпусом датчика и нагревательным элементом на выходе батареи дифференциальных термопар появляется ЭДС.

Постепенно реостатами «грубо» и «точно» повышают силу тока в нагревателе датчика. При повышении температуры нагревателя, а следовательно, и спаев батареи дифференциальных термопар, находящихся под нагревательным элементом, стрелка нуль-гальванометра начинает приближаться к нулевому значению. При переходе стрелки через 0 ток в нагревателе уменьшается до тех пор, пока стрелка нуль-гальванометра не займет устойчивого нулевого положения.

При наложении датчика на горячую поверхность до включения подачи тока на нагреватель стрелка нуль-гальванометра будет находиться в левом положении. При подаче заведомо повышенного тока на нагреватель (стрелка миллиамперметра находится в крайнем правом положении) стрелка нуль-гальванометра начинает быстро приближаться к нулю.

Для быстрого достижения устойчивого нулевого положения стрелки нульгальванометра уменьшение силы тока следует начинать за 2—3 деления до подхода ее к нулю. Практически цикл установки стрелки на 0 повторяется несколько раз при постепенном уменьшении диапазона регулировки.

При устойчивом (не менее 1 мин) нулевом положении стрелки нуль-гальванометра отсчитывают значение плотности теплового потока по миллиамперметру, градуировка которого может быть в $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ или в $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Время, необходимое для проведения одного измерения, определяемое инерционностью корпуса датчика и стабильностью внешних условий, при применении плоского датчика составляет 3—8 мин, а при использовании датчика с резиновой пластинкой вследствие сравнительно небольшой теплопроводности резины 20 – 30 мин. В последнем случае измерение следует начинать через 15 – 20 мин после установки датчика на исследуемый объект.

В процессе эксплуатации тепломер должен подвергаться обязательной периодической проверке в сроки, определяемые условиями эксплуатации, но не реже одного раза в два года.

Тепломер должен храниться в закрытом помещении при температуре 5—35° С и относительной влажности воздуха не выше 80%.

В воздухе помещения, где хранится тепломер, не должно быть вредных примесей, вызывающих коррозию.

Поверхность нагревательных элементов датчиков не должна подвергаться никаким механическим воздействиям: давлению, трению, ударам.

5.2. Определение термических свойств керамических ТИМ

Теплоизоляционные материалы, применяющиеся при высоких температурах (600° С и выше), должны обладать целым рядом специфических свойств. Они должны, не расплавляясь, выдерживать действие высоких температур, при повторном нагревании не давать большой дополнительной усадки, быть термически стойкими (неоднократно выдерживать переменное нагревание и охлаждение), в нагретом состоянии выдерживать некоторое заданное давление, не деформируясь.

Таким требованиям отвечают керамические теплоизоляционные материалы (легковесные огнеупоры, перлито-керамические и высокопористые диатомитовые изделия и др.). При контроле качества таких материалов обычно определяют их огнеупорность, величину деформации под давлением в нагретом состоянии, дополнительную усадку, термическую стойкость.

Огнеупорностью называют способность материала противостоять, не расплавляясь, действию высоких температур.

Показателем огнеупорности (ГОСТ 4069—69) является температура, при которой образец испытываемого материала в форме усеченной пирамиды под влиянием собственного веса деформируется таким образом, что его вершина опускается до плоскости подставки, на которой этот образец установлен. Эта температура называется температурой падения конуса и выражается в °С.

Огнеупорность изделий определяют следующим образом. От изделия откалывают отдельные куски, измельчают их, растирают в ступке и затем просеивают через сито с отверстиями 0,2 мм. Из полученного порошка приготавливают пластичное тесто, затворяя его 10%-ным водным раствором декстрина. В специальной разъемной форме формуют образцы в виде трехгранных усеченных пирамидок размером $h=30$ мм, $a=8$ мм и $b=2$ мм. Форму предварительно смазывают тонким слоем вазелина, затем в нее набивают приготовленную массу, уплотняют ее, срезают излишек, а поверхность среза заглаживают. Отформованный образец вынимают из формы, сушат сначала на воздухе, а затем в сушильном шкафу при температуре 105—110° С.

Высушенный образец устанавливают на специальную подставку, выполненную из высокоогнеупорной керамики. Обычно такие подставки изготавливают из массы, состоящей из 70% корунда и 30% огнеупорной пластичной глины. Подставка имеет форму диска с бортиками высотой 3—5 мм.

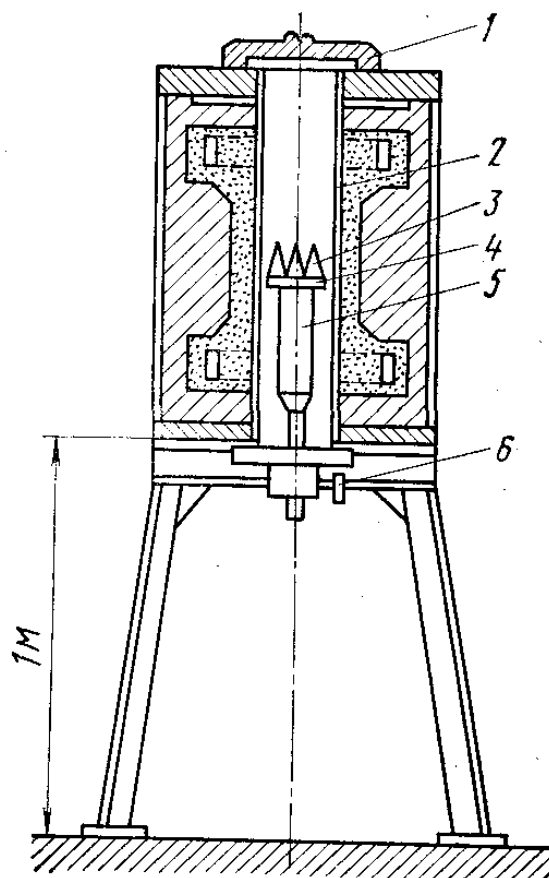


Рисунок 6- Схема трубчатой криптоловой печи для определения огнеупорности материалов

Рядом с образцом, на расстоянии в несколько миллиметров, устанавливают два контрольных конуса (пироскопа), огнеупорность которых известна. Причем огнеупорность одного из контрольных образцов (пироскопов) должна быть несколько выше предполагаемой огнеупорности испытуемого материала, а второго — несколько ниже. Все три пирамидки должны быть установлены на одинаковом расстоянии от центра подставки. После установки образцов их закрепляют путем насыпания ровным слоем вровень с бортиками подставки чистого кварцевого песка.

Нагревание образцов производят в лабораторных печах различной конструкции. Наиболее широко для этой цели применяют трубчатые криптоловые печи, которые просты и удобны и в которых сравнительно легко и быстро можно получить необходимую для испытания температуру (вплоть до 1800°C). Схема такой печи показана на рисунке 6.

Подставку 4 с установленными на ней пироскопами 3 помещают на

корундовый стержень 5 и медленно, перемещая вверх штатив, вводят в центральную часть трубы 2, в зону наивысшей температуры. Штатив закрепляют винтом 6, закрывают крышку / и включают ток.

При проведении опыта необходимо следить за тем, чтобы скорость подъема температуры в печи не превышала 10°C в минуту, а при температуре, близкой к предполагаемой температуре падения конуса,— 5°C в минуту.

Контроль температуры до 900°C осуществляют с помощью хромель-алюмелевой термопары, а при более высоких температурах пользуются оптическим пирометром, используя специальное отверстие в печи.

Обжиг заканчивают, когда пирамидка из испытываемого материала своей вершиной коснется основания подставки. Обожженные образцы оставляют в рабочем пространстве печи до полного охлаждения. Затем их вынимают вместе с подставкой и осматривают, обращая внимание на характер деформации.

Если, например, два контрольных пироскопа имели огнеупорность 1730 и 1750°C , т. е. их номера были соответственно ПК-173 и ПК-175, и если первый пироскоп упал, а второй нет, то огнеупорность испытываемого материала следует обозначить так: ПК-173 и ПК-175, т. е. $1730\text{—}1750^{\circ}\text{C}$.

Если отмечено неправильное падение испытуемого образца или контрольного пироскопа (на стенку печи или друг на друга), то испытание следует повторить. При этом вторичное использование не упавших при обжиге пироскопов и испытуемых образцов не допускается. В случае прекращения по каким-либо причинам испытания после достижения температуры 1300°C возобновлять испытание с этими же образцами не рекомендуется. Необходимо заменить образец и пироскопы и только после этого продолжить опыт.

При определении огнеупорности в криптоловых печах необходимо внимательно следить за равномерным распределением температуры по сечению печи в зоне нагрева. Перед опытом рекомендуется производить пробный пуск печи и проверять равномерность ее нагревания. При обнаружении местного перегрева необходимо печь выключить, тщательно проверить ее монтаж и распределение криптола, который играет роль проводника электрического тока

и обладает большим сопротивлением.

Криптол—это крошка угольных электродов с величиной зерен от 1 до 5 мм. Иногда в качестве криптола используют такой же величины крошку металлургического или нефтяного кокса, древесного угля или других углеродистых веществ. Печь нагревается за счет тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через слой криптола.

Электрическое сопротивление криптолового слоя может быть различным, оно зависит от качества криптола, от величины зерен и степени его уплотнения. Чем мельче частицы криптола и чем меньше степень их уплотнения, тем выше электрическое сопротивление криптолового слоя, тем более высокая температура развивается в данном месте печи. В связи с этим рекомендуется внимательно следить за равномерностью уплотнения криптола в печи и за однородностью его зернового состава.

Результаты проведенных испытаний рекомендуется записывать по следующей форме:

Таблица 8

Результаты проведенных испытаний

Название материала	Тип печи	Контрольные Пироскопы		Время от начала обжига		Температура		Примечание
		1	2	ч	мин	в процессе испытания	в момент падения конуса	

Образец №... ПК ... (.. -°C). В примечании дается описание характера и последовательности падения опытных конусов.

Определение деформации под давлением при высоких температурах.

Деформация материала под давлением при высоких температурах определяет его способность противостоять одновременному воздействию высоких температур и сжимающих усилий и является одним из важнейших показателей его термомеханических свойств.

Так как величина давления при испытаниях более или менее соответствует условиям службы материалов в конструкциях, то определение этого показателя характеризует температурные пределы их строительной прочности.

Многочисленные методы, с помощью которых определяют поведение огнеупорных материалов при одновременном воздействии на них давления (сжимающего усилия) и высокой температуры, можно разделить на три основные группы.

1. Определение предела прочности материалов при сжатии, нагретых до различной температуры, производимое обычно с помощью гидравлического пресса в процессе нагревания образцов.

2. Определение величины деформации, наступившей в испытуемом материале под действием известного давления при заданной конечной температуре.

3. Определение изменения величины деформации при постоянном давлении и постоянно повышающейся температуре. Эти определения обычно заканчиваются после достижения заранее указанной конечной величины деформации.

Методы первой группы получили ограниченное применение, так как они неправильно отражают условия службы материалов в конструкциях. Высокотемпературные и огнеупорные теплоизоляционные материалы никогда в условиях реальной службы не подвергаются таким высоким давлениям, какие они выдерживают при данных испытаниях.

Методы второй группы применяют главным образом в США. Испытания проводят, как правило, на целых изделиях, нагревая их до заданной температуры и измеряя возникающие при этом деформативные изменения.

Методы третьей группы широко распространены в СССР и в ряде европейских стран. Преимущество этих методов заключается в том, что материал характеризуется сразу в широком интервале температур, что позволяет дать ему наиболее полную оценку и определить область его

применения.

По ГОСТ 4070—48 деформацию материалов под давлением при высоких температурах определяют на цилиндрических образцах, имеющих диаметр 36 мм и высоту 50 мм. Величина давления для высокотемпературных и огнеупорных теплоизоляционных материалов применяется в соответствии с их средней плотностью. Например, если средняя плотность испытуемого материала равна 400 кг/см^3 , то давление при его испытании дается равным 0,04 МПа.

Для определения деформации материалов под давлением при высоких температурах применяют прибор конструкции проф. Э. К. Келера, а также прибор с непосредственной передачей нагрузки на образец.

Прибор конструкции Э. К. Келера (рисунок 7) состоит из Электрической криптоловой печи, нагрузочной системы и отчетного устройства.

Электрическая криптоловая печь 1 имеет жаровую трубу диаметром 100 мм. Контроль за температурой внутри печи осуществляется оптическим пирометром через горизонтальную боковую трубу 2.

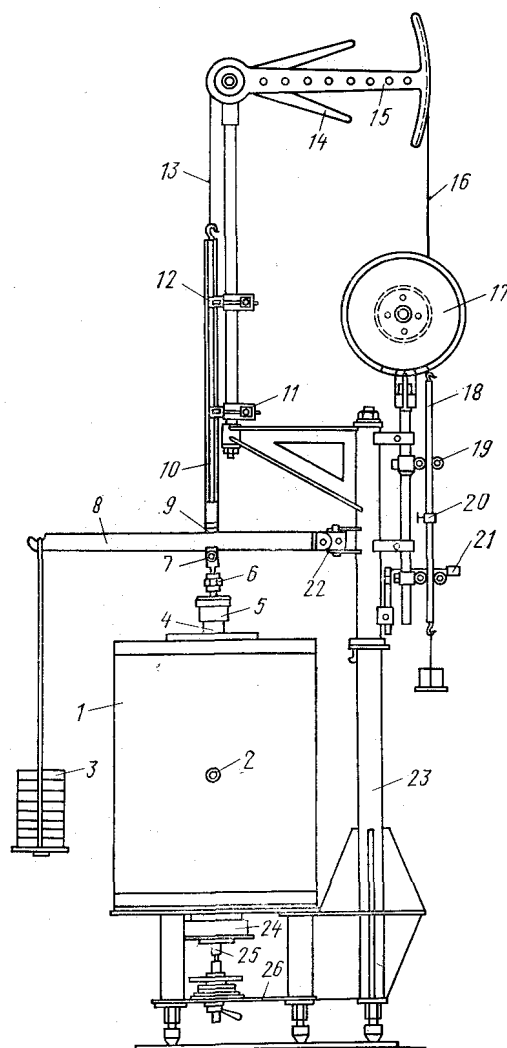


Рисунок 7- Общий вид прибора Э. К. Келера для определения деформации материалов под нагрузкой при высоких температурах.

Испытуемый образец устанавливают на нижний штемпель, закрепленный в специальной обойме. Герметизация рабочего пространства печи обеспечивается наличием песочного затвора 24. Нижний штемпель может перемещаться вверх и вниз с помощью установочного винта 25. Песочный затвор, установочный винт со штурвалом смонтированы на металлической подставке 26.

Давление на образец передается через верхний штемпель 4, который (так же как и нижний штемпель) изготавливают из специальной высокоглиноземистой массы. Чаще всего — это корундовые изделия, обладающие высокой огнеупорностью (до 2000°C). Обычно на корундовую часть штемпелей устанавливают промежуточные цилиндры из электродного угля диаметром 50—60 мм и высотой около 70—80 мм. При этом наиболее нагретые концы ко-

рундовых штемпелей находятся вне зоны максимальной температуры и практически не деформируются даже при максимальном нагреве печи (до 1700—1750° С).

Корундовые штемпели применяют в целях экономии электродных углей. Однако крепление промежуточных цилиндров к корундовым штемпелям сопряжено со значительными трудностями и поэтому на практике чаще пользуются угольными стержнями с небольшими прокладками (толщиной 10—15 мм) из электродного угля.

Верхний штемпель крепится к обойме 5, которая с помощью соединительной гайки 6 связана со штоком, передающим давление на образец.

Рычаг 8, создающий давление, укреплен двойным шарниром 22 на главной стойке прибора 23. Своей средней частью он опирается на шариковый ролик 7, помещенный в серьге 9 штока давления 10, а к концу рычага подвешивается груз 3, создающий необходимое давление на испытуемый образец. После окончания испытания груз снимается, нагрузочный рычаг выводится из серьги и опускается вдоль главной стойки прибора.

Направляющие ролики 12 и ведущий шток давления укреплены на особых держателях 11, регулируя которые можно обеспечить точное вертикальное положение штока и необходимую степень свободы его скольжения в направляющих.

Мягким стальным тросиком 13 шток 10 соединен с секторным рычагом 15, который в 10-кратном увеличении передает смещение верхнего штемпеля на отсчетную систему. Качания секторного рычага ограничены вилкой 14. Отсчетное устройство состоит из шкива с укрепленной на нем дисковой шкалой 17. Через шкив перекинут в один оборот тонкий гибкий трос 16, к которому подвешен шток 18, служащий натяжным грузом. Этот шток движется в направляющих роликах 19. Муфта 20 служит для укрепления в ней самопишущего пера, а кронштейн 21— для установки барабана с часовым механизмом. При отсутствии самописца деформация образца регистрируется по шкале 17, отсчеты по которой производятся в 30-кратном увеличении. Цена

деления шкалы соответствует 0,005 мм изменения высоты образца.

Нагрузочная и отсчетная системы уравниваются грузом, помещаемым на площадку, подвешенную к штоку 18, после чего уже нагружается система прибора расчетным грузом 3.

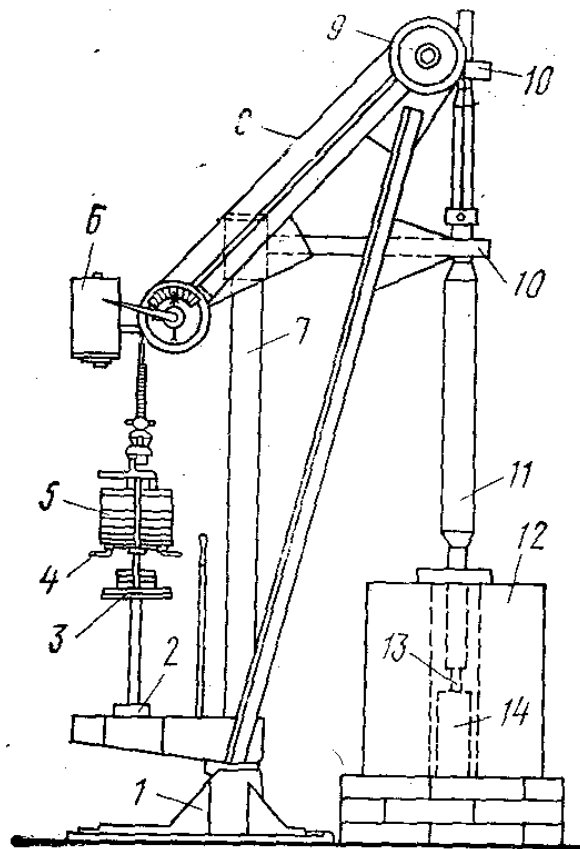


Рисунок 8- Прибор для определения деформации материалов под нагрузкой при высоких температурах с непосредственной передачей нагрузки на образец.

Прибор допускает регулирование давления на образец стандартного размера от 0,01 МПа до 1 МПа.

На рисунке 8 изображен прибор с непосредственной передачей давления на образец. Этот прибор состоит из нагрузочного аппарата и электропечи.

Электрическая криптоловая печь 12 с вертикальной жаровой трубой устанавливается на фундаменте из огнеупорного кирпича.

Испытуемый образец 13 вводят в печь сверху специальными щипцами и устанавливают точно в центр на угольный электрод 14, служащий нижним штампом. Нагрузочный аппарат устанавливают так, чтобы металлический штамп 11 с укрепленным в нем угольным электродом находился в центре

жаровой трубы и точно над нижним угольным штампом. Кранообразная станина 7, поддерживающая нагрузочный металлический штамп 11, может вращаться вокруг вертикальной оси, наглухо закрепленной в массивном чугунном башмаке 1. Нагрузочный штамп, масса которого около 61 кг, соединен посредством двух гибких металлических тросов 8, проходящих через две пары шкивов 9, с противовесом. Нагрузочный штамп перемещается в двух направляющих кольцах 10.

Противовес состоит из 10 пластин 5 с массой по 5 кг и имеет тарелку для дополнительного нагружения 3 и шток противовеса 2. Рычажок 4 служит для облегчения отделения пластин друг от друга при их снятии. Изменяя количество пластин и величину дополнительного груза, можно регулировать величину давления на образец от 0 до 6,1 МПа. Прибор снабжен шкалой, позволяющей фиксировать деформацию образца с точностью до 0,1 мм, а также самопишущим прибором 6.

Испытание образцов производят следующим образом.

Путем высверливания из изделий готовят цилиндрические образцы высотой 50 мм и диаметром 36 мм. Отклонение от этих размеров допускается не более чем на ± 1 мм. Верхнее и нижнее основания образца должны быть строго параллельными и тщательно отшлифованными.

Образец устанавливают на нижний штемпель и вводят его в среднюю часть жаровой трубы, печи, в зону наивысшей температуры.

Между образцом и угольными стержнями как сверху, так и снизу кладут круглые прокладки толщиной 10 мм, диаметром 50 мм, изготовленные из электродного угля. Большой диаметр прокладок по сравнению с диаметром стержней обеспечивает равномерную передачу давления на всю торцовую поверхность образца даже при частичном сгорании угля.

После включения печи следят за скоростью подъема температуры, которая вначале не должна превышать 10°C в минуту, а затем после достижения $600\text{—}700^{\circ}\text{C}$ $4\text{—}5^{\circ}\text{C}$ в минуту.

Контроль за температурой до 800°C осуществляют с помощью

термопары, а при большей ее величине пользуются оптическим пирометром.

Каждые 10 мин в рабочем журнале производят запись температуры, времени и показаний прибора.

Особо отмечают: а) температуру начала размягчения (НР), которая фиксируется при уменьшении высоты образца на 0,3 мм, причем за первоначальную принимают высоту образца после его расширения; б) температуру, соответствующую сжатию образца на 40%.

После достижения такой величины сжатия испытание прекращают. Иногда не удается зафиксировать температуру, при которой наблюдается сжатие образца на 4 и 40%, вследствие внезапного его разрушения вскоре после начала размягчения или даже без предварительной деформации (например, у динаса). В этом случае температура, при которой происходит резкая деформация, отмечается в протоколе испытаний как температура разрушения.

По данным наблюдений определяют температурный интервал размягчения материала, который соответствует разности температур 40%-ного сжатия (или соответственно температуры разрушения) и началу размягчения.

Запись в рабочем журнале рекомендуется производить по следующей форме:

№ испытания ..., прибор ..., дата ..., наименование материала ..., его средняя плотность ... кг/м³, удельная нагрузка на образец МПа.

№ образца	Время отсчетов по приборам, мин		Напряжение на контактах печи, В	Сила тока в печи, А	Температура в печи, °С		Показания прибора по шкале	Величина деформации		Примечание
	календарно	истекшее от начала испытаний			по термопаре	по оптическому пирометру		мм	%	

Испытания не могут быть приняты в следующих случаях: при неправильной «грибовидной» форме деформации образца; перекосе образца; при одностороннем оплавлении образца или других признаках неравномерного

нагрева.

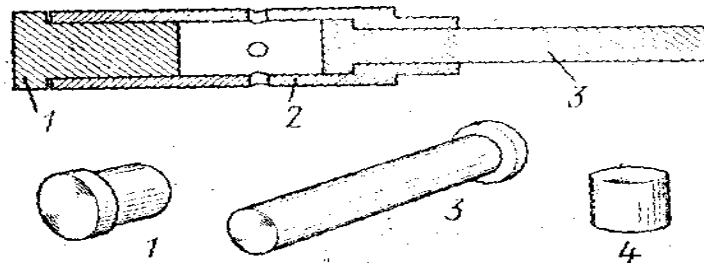
Во всех этих случаях после устранения дефекта требуется повторить опыт.

6. Практическое занятие №6

6.1. Испытание глинистого сырья для получения керамзита

Проводят макроскопическое описание глины, определяют содержание крупнозернистых включений, гранулометрический и химический составы, пластичность и огнеупорность. Для камнеподобного сырья производят макроописание, определяют огнеупорность и химический состав.

Подготовку сырья к обжигу осуществляют в зависимости от его структурно-механических свойств. Глинистое сырье высушивают при температуре 105...110⁰С. Глину в количестве 4...5 кг измельчают деревянным пестиком и просеивают через сито с размером отверстий 1 мм. Из подготовленной пробы отбирают 300 г глины и готовят тесто нормальной формовочной влажности. Влажность контролируют на приборе Вика и определяют весовым способом. Из массы формируют гранулы-цилиндрики с диаметром и высотой 16 мм. Конструкция формы позволяет при вдавливании формующей детали излишкам глиняного теста выходить через отверстия (рисунок 9). Камнеподобное сырье дробят и рассеивают на фракции 5...10 и 10...20 мм.



1 — донышко; 2 — форма; 3 — формующая деталь; 4 — образец

Рисунок 9- Форма для изготовления гранул-цилиндров.

Подбор оптимального режима термической обработки гранул перед

обжигом осуществляют следующим образом. Приготовленные гранулы-цилиндрики (или кусочки камневидного сырья) в количестве 12 шт. после подвялки высушивают до постоянной массы при температуре 105...110°С. В муфельную печь, разогретую до одной из температур: 200, 300, 400 или 500°С, на шамотной подставке, посыпанной песком, одновременно помещают по три образца. Продолжительность термоподготовки при указанных температурах — 20 мин. После этого гранулы вместе с подставкой переносят для вспучивания в силитовую печь, разогретую до 1140, 1170 или 1200°С, и выдерживают по 7 мин при всех сочетаниях указанных температур термоподготовки и вспучивания. Если в печи термоподготовки или при перенесении из нее в печь обжига гранулы разрушаются, необходимо опробовать следующие приемы: 1) обжигать подвяленные гранулы с влажностью на 2...4% ниже формовочной без предварительной термоподготовки; 2) постепенно нагревать гранулы со скоростью 10 ...20°С в 1 мин до конечной температуры термоподготовки. По окончании обжига шамотную подставку вместе с образцами вынимают из печи, охлаждают до комнатной температуры, визуально определяют степень оплавления поверхности гранул, измеряют их объем, затем взвешивают и рассчитывают среднюю плотность заполнителя и коэффициент вспучивания по формуле. Результаты определений записывают по форме таблицу 9.

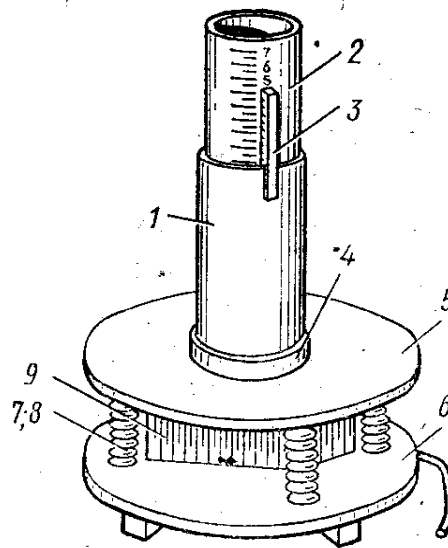
Оптимальные условия термоподготовки и ориентировочную температуру вспучивания определяют по наименьшей средней плотности керамзита и наибольшему коэффициенту вспучивания. При этом гранулы не должны быть деформированы, а их поверхность — оплавлена.

Таблица 9

Определение оптимальных параметров обжига гранул

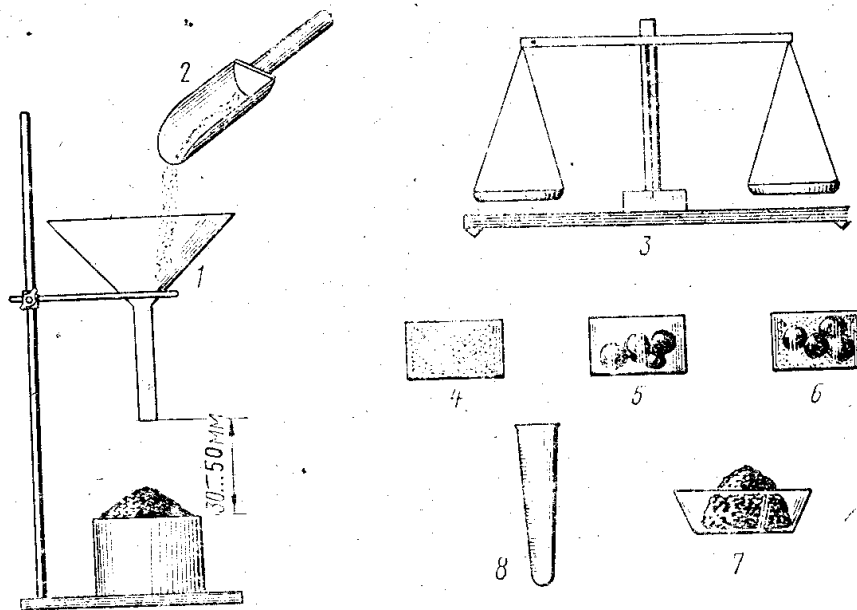
Наименование сырья	Номер образца	Температура, °С		Сухие гранулы		Вспученные образцы				Средняя плотность, г/см ³		Коэффициент вспучивания	
		термо-подготовки	обжига	Размеры, см	Объем, см ³	Макро-описание	Масса, г	Размеры, см	Объем, см ³	образца	средний	образца	средний

Для расчета средней плотности керамзита необходимо знать объем его гранул. Последний рекомендуется устанавливать на приборе, в основу которого положена конструкция, разработанная сотрудниками Сибирского автодорожного института (г. Омск). Прибор (рисунок 10) состоит из двух стаканов: внешнего 1 и внутреннего 2. Последний легко скользит по стенкам внешнего стакана. На наружной поверхности стакана 2 через 1 мм нанесены деления. Точность отсчетов до 0,1 мм обеспечивается нониусом — добавочной шкалой 3, укрепленной на внешнем стакане. Стакан плотно входит в гнездо 4 на верхней плите 5 основания, соединенной с нижней 6 стержнями 7, на которые одеты пружины-амортизаторы 8. Между верхней и нижней частью основания установлен электромагнитный вибратор 9 с частотой колебаний 50 Гц и регулируемой амплитудой. Внешний стакан примерно на 0,5 объема заполняют прокаленным песком, вставляют в него внутренний стакан и вибрируют 30 с, отмечая глубину погружения внутреннего стакана h_1 . Затем примерно $2/3$ объема песка высыплют на лист бумаги, закладывают в стакан образец, засыпают отсыпанным песком, вставляют внутренний стакан, вибрируют 30 с и отмечают глубину погружения внутреннего стакана h_2 .



1—внешний стакан; 2 — внутренний стакан; 3 — нониус; 4 — гнездо; 5 — верхняя плита; 6— нижняя плита основания; 7 — стержни; 8 — пружины; 9 — вибратор.

Рисунок 10- Прибор для определения объема гранул.



1- штатив с воронкой и бюксом; 2—совок; 5—технические весы; 4 — бюкс вместимостью 50 ... 100 см³, заполненный песком; 5—то же, с частью песка и гранулами; 6 — то же, с гранулами и песком; 7 — песок, характеризующий объем гранул; 8 — мерная пробирка (10 см³)

Рисунок 11- Аппаратура, используемая для определения объема керамзитовых гранул с помощью песочного объемомера.

Объем гранулы (см³):

$$V = \frac{\pi D^2}{4} (h_2 - h_1);$$

где D —внутренний диаметр внешнего стакана, см; h_1 — погружение внутреннего стакана в цилиндр с песком при отсутствии гранулы, см; h_2 —то же, с гранулой керамзита, см.

Для обеспечения достаточной точности измерений объем стакана должен быть в 5...6 раз, а диаметр примерно в 2 раза больше измеряемого образца. Для стакана диаметром 3,9 см-объем гранулы может быть определен по данным таблицы 10.

При отсутствии указанного прибора объем гранул керамзита допускается определять с помощью простейшего песочного объемомера (рисунок 11). Однако ошибка опыта в этом случае возрастает с 0,1...0,5% до 5...10%. Песочный объемомер состоит из штатива, на котором укреплена воронка на высоте 3...5 см от края бюкса вместимостью в 3...4 раза больше возможного объема гранулы керамзита. Предварительно прокаленный кварцевый песок фракции 0,315...0,63 мм через воронку засыпают в бюкс до образования над поверхностью конуса; последний срезают ножом и поверхность песка в бюксе выравнивают. Затем примерно 3/4 песка из бюкса высыпают в совок, а в бюкс закладывают заранее взвешенные 1...3 гранулы. Из совка через воронку песок засыпают в бюкс до образования конуса. Излишек последнего срезают. Оставшийся песок помещают в мерную пробирку и измеряют объем, который соответствует объему гранул керамзита. Определение повторяют дважды, вычисляя средний результат. По полученным данным производят расчет средней плотности зерен заполнителя. Результаты испытаний записывают по форме таблицы 10.

Таблица 10

Определение средней плотности зерен заполнителя в куске в песочном
объемомере

Наименование сырья и добавки	Масса гранулы, г	Объем оставшегося песка, см ³	Средняя плотность зерен,
---------------------------------	------------------	---	-----------------------------

			г/см ³

Определение оптимальной температуры и интервала вспучивания производят следующим образом. Четыре гранулы-цилиндрика устанавливают на посыпанную песком шамотную подставку так, чтобы три из них располагались в нижнем слое плотно друг к другу, а одна— сверху. Термоподготовка осуществляется по ранее выбранному режиму, а вспучивание—при температурах от -990 до 1250°C с интервалом 30°C и выдержкой в обжиге 7 мин. При выборе вариантов температурных режимов учитывают результаты предыдущих испытаний. За оптимальную температуру вспучивания принимают температуру начала слипания гранул, когда после остывания они при постукивании начинают отделяться друг от друга с обнажением пористой структуры в местах контакта. При температурах, близких к температуре начала слипания, ступени конечных температур обжига уменьшают до 10°C. Результаты записывают по форме таблицы 10. Подученные данные используют для определения интервала вспучивания. Строят график в координатах «Средняя плотность керамзита — температура вспучивания». За интервал вспучивания принимают разницу между оптимальной температурой вспучивания и температурой, при которой получен керамзитовый гравий со средней плотностью 1 г/см³. Если при оптимальном режиме термоподготовки и вспучивания получен керамзит со средней плотностью 0,4 г/см³ и менее, то данное сырье рекомендуется применять в естественном составе. В противном случае следует провести испытания шихт с добавками.

Таблица 11

Тарировочная таблица для определения объема гранул керамзита

h_2-h_1 , CM	V , CM ³	h_2-h_1 , CM	V , CM ³	h_2-h_1 , CM	V , CM ³	h_2-h_1 , CM	V , CM ³	h_2-h_1 , CM	V , CM ³	h_2-h_1 , CM	V , CM ³
0,25	2,947	0,40	4,715	0,55	6,484	0,70	8,252	0,85	10,021	1,00	11,789
0,26	3,064	0,41	4,833	0,56	6,601	0,71	8,370	0,86	10,138		
0,27	3,182	0,42	4,951	0,57	6,719	0,72	8,488	0,87	10,256		
0,28	3,300	0,43	5,069	0,58	6,837	0,73	8,606	0,88	10,374		
0,29	3,418	0,44	5,187	0,59	6,955	0,74	8,724	0,89	10,492		
0,30	3,536	0,45	5,304	0,60	7,073	0,75	8,842	0,90	10,610		
0,31	3,654	0,46	5,422	0,61	7,191	0,76	8,959	0,91	10,728		
0,32	3,772	0,47	5,540	0,62	7,309	0,77	9,078	0,92	10,846		
0,33	3,890	0,48	5,658	0,63	7,427	0,78	9,193	0,93	10,964		
0,34	4,008	0,49	5,776	0,64	7,545	0,79	9,313	0,94	11,082		
0,35	4,126	0,50	5,894	0,65	7,663	0,80	9,431	0,95	11,200		
0,36	4,243	0,51	6,012	0,66	7,780	0,81	9,549	0,96	11,317		
0,37	4,361	0,52	6,130	0,67	7,898	0,82	9,668	0,97	11,435		
0,38	4,479	0,53	6,248	0,68	8,016	0,83	9,784	0,98	11,553		
0,39	4,597	0,54	6,366	0,69	8,134	0,84	9,904	0,99	11,671		

7. Практическое занятие №7

7.1. Изучение и сопоставление свойств отечественных рулонных и гидроизоляционных материалов

Таблица 12

Сравнительные свойства отечественных рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов

Наименование материала	Марка	Удельная масса, г/м ²	Площадь рулона, м ²	Водонепроницаемость, d КПа/мин	Гибкость стержня мм/° С	Прочность, Н/50 мм
1	2	3	4	5	6	7
Рубероид кровельный с крупнозернистой посыпкой	РК-420	2700	10	70/10	30/25	340
То же, с чешуйчатой	РЧ-350	1700	15	70/10	30/25	320
То же, с мелкой	РМ-250	1470	15	70/10	30/25	320
Рубероид подкладочный	РП-250	1100	20	40/5	20/18	180
Рубероид наплавленный	РК-420-0,6	3300	10	70/10	30/25	340
То же, с крупнозернистой посыпкой	РК-420-1,0 РК-500-2,0	3700 4150	10 7,5	70/10 70/10	30/25 30/25	340 400
То же, с мелкозернистой	РМ-420-0,6 РМ-420-1,0	2100 2500	10 10	70/10 70/10	30/25 30/25	340 340
Стеклорубероид с крупнозернистой посыпкой	С-РК	2900	10	80/10	40/0	300
То же, с чешуйчатой	С-РЧ	2300	10	80/10	40/0	300
Стеклорубероид гидроизоляционный	С-РМ	2300	10	80/10	40/0	300
Пергамин кровельный	П-350	750	20	5см/сут	10/15	270
Толь кровельный,	ТК-350	670	30	90/5	10/20	300
То же, с песчаной посыпкой	ТП-350	1200	15	90/5	20/20	280
То же, с крупнозернистой	ТВК-420	2500	10	40/10	30/20	300 107
Толь гудрокамовый	РГМ-420	1500	20	70/10	20/18	320
Гидроизол	Ги-1 Ги-2	640 620	20 20	5см/сут 5см/сут	10 перегибов 10 -"-	300 300

1	2	3	4	5	6	7
Бризол безосновный	Бр-С,	1500	10	W=2,5%	80%/20	70
	Бр-П					
	Бр-М,	2000	10	W=2,8 %	38%/20	70/150
	Бр-Т					
Изол безосновный	Д,М,Т,Э	2000	10	W=1,0%	60%/20	40...120
Фольгоизол	-	2100	10	1500/сут	100/-15	240
Гидростекло-изол армированный	-	2200	10	1500/сут	100/-15	320
Экарбит под-кладочный	ЭЭМ-	3200	10	1500/сут	40/-20	320
	-420-2					
	ЭЭМ-	4200	10	1500/сут	40/-30	340
То же, покровный	ЭЭК-420-1	3800	10	1500/сут	40/-30	320
	ЭЭК-500-2	4800	10	1500/сут	40/-30	340

7.2. Окрасочные гидроизоляционные материалы

7.2.1. Общие требования к гидроизоляционным материалам

Свойства материалов	Вид конструкций		
	Наземные	подземные	кровли
Водонепроницаемость, напор воды, м	10	40	1,0
Коэффициент водоустойчивости через 3 мес, не менее	0,75	0,8	0,7
Водопоглощение по массе, %, не более	5,0	3,0	7,0
Набухание по объему, %, не более	1,0	0,8	1,5
Теплоустойчивость, ° С, не ниже	60	40	70
Температура хрупкости, °-С, не выше	40	-5	-50
Трещиноустойчивость, мм, не более, для:			
покрытия монолитных конструкций	0,3	0,1	0,5
то же, сборных железобетонных	2,0	0,5	0,4
Предел прочности, МПа, не менее, при:			
сжатии	1,0	1,0	0,5
растяжении	0,8	0,5	0,3
Коэффициент атмосферостойкости через 500 циклов, не менее	0,9...0,8	0,7...0,6	0,95...0,9
Щелочестойкость, рН, не более	12,0	12,0	8,0
Кислотостойкость, рН, не ниже	2,0	5,0	6,0
Долговечность, лет, не менее	10	40	10

Таблица 13

Общие требования к гидроизоляционным материалам

7.3. Приготовление и определение марки горячей битумной мастики

Битумная мастика представляет собой однородную массу, состоящую из битумного вяжущего и наполнителя. В качестве сырьевых материалов применяют: битум легкоплавкий БНД или БНК, битум тугоплавкий кровельный БНК, волокнистый или пылевидный наполнитель.

В качестве волокнистого наполнителя применяют хризотилковый асбест 7-го сорта. В качестве пылевидного наполнителя — тонкомолотый тальк, сланцевые породы, известняки, доломиты, трепел, мел (таблица 14).

Таблица 14- Требования к наполнителю для изготовления мастики

Наименование показателей	Норма
Плотность, г/см ³ , не более	2,7
Влажность наполнителя, % по массе, не более:	
волокнистого	5.0
пылевидного	3,0
Зерновой состав наполнителя:	
волокнистого	Проходит 100 % через сито с сеткой № 04
пылевидного	Проходит 100 % через сито с сеткой № 02, а на сите с сеткой № 009 остаток не более 10 %

Методика проведения работы. Горячую битумную мастику готовят следующим образом. Первоначально в смеситель с тепловым обогревом загружают куски легкоплавкого битума (например, БНД-60/90, БНК-45/180) и обезвоживают его, доводя температуру до 110...115 °С. После обезвоживания в расплавленный битум добавляют тугоплавкий битум марки БНК-90/30 или БНК-90/40 и при постоянном перемешивании температуру вяжущего доводят до 160...180 °С.

Количество тугоплавкого битума, вводимого в расплавленный легкоплавкий битум, зависит от требуемой температуры размягчения битумного вяжущего (таблица 15) и определяется по формулам:

$$B_m = \frac{t_s - t_n}{t_m - t_n};$$

$$B_n = 100 - B_T$$

где B_T — количество тугоплавкого битума, %; B_n — количество легкоплавкого битума, %; t_s — температура размягчения битумного вяжущего, °С; t_m, t_n — температура размягчения соответственно тугоплавкого и легкоплавкого битумов, °С.

Таблица 15

Температура размягчения битумного вяжущего для мастик

Марка мастики	Температура размягчения битумного вяжущего по методу "кольцо и шар", °С
МБК-Г-55	45...50
МБК-Г-65	51...60
МБК-Г-75	61...70
МБК-Г-85	71...80
МБК-Г-100	85...95

В том случае, если температура битумного вяжущего будет ниже заданной, надо увеличить процентное содержание тугоплавкого битума и после тщательного перемешивания повторить эксперимент до получения битумного вяжущего с требуемой температурой размягчения.

После проверки температуры размягчения битумного вяжущего вводят наполнитель отдельными порциями при постоянном перемешивании. Количество загружаемого наполнителя в каждой порции составляет примерно 1/3 от потребного количества. При интенсивном подъеме пены введение наполнителя прекращают до понижения уровня пены, после чего засыпку наполнителя опять возобновляют. После загрузки наполнителя варку мастики продолжают при температуре 160...180°С при постоянном перемешивании до

получения однородной смеси.

Мастика должна быть удобоукладываемой: при температуре 160...180°C мастика массой 10 г должна свободно растекаться по поверхности листа пергамина размером 100X50 мм ровным слоем толщиной 2 мм.

В зависимости от марки мастика должна удовлетворять требованиям, приведенным в таблице 16.

Таблица 16

Требования к мастикам различных марок

Наименование показателей	Марки мастик				
	МБК-Г-55	МБК-Г-65	МБК-Г-75	МБК-Г-85	МБК-Г-100
Теплостойкость в течение 5 ч, °С, не менее	55	65	75	85	100
Температура размягчения по методу "кольцо и шар", °С	55...60	68...72	78...82	88...92	105...110
Гибкость при температуре (18 ± 2) °С на стержне диаметром, мм	110	15	20	30	40
Содержание наполнителя, % по массе: волокнистого	12...15	12...15	12...15	12...15	12...15
пылевидного	25...30	25...30	25...30	25...30	25...30

Определение теплостойкости. Для определения теплостойкости на образец пергамина размером 100X50 мм наносят 8...10 г мастики, предварительно разогретой до температуры 140...160-°С. Сверху накладывают лист пергамина тех же размеров и прижимают грузом в 20 Н на 2 ч. Груз прикладывают через плоскую металлическую пластину толщиной 2 мм, таких же размеров, как листы пергамина.

После 2 ч выдержки в нормальных условиях образцы помещают на наклеенную под углом 45° подставку, находящуюся в сушильном шкафу, который нагрет до температуры, соответствующей заданной марке мастики (см. табл. 15). Образцы выдерживают в шкафу в течение 5 ч при постоянной температуре, после чего их вынимают и осматривают. Мاستику считают выдержавшей испытание на теплостойкость, если она не потечет и не начнет сползать по наклонной подставке.

Определение температуры размягчения. Температуру размягчения

битумной мастики определяют по аналогии с битумами нефтяными по методу "кольцо и шар" (ГОСТ 11506-86).

Определение гибкости. Метод основан на изгибе образца пергамина с нанесенной на него мастикой по полуокружности стержня определенного диаметра при заданной температуре. На образец пергамина размером 100X50 мм равномерным слоем наносят 8...10 г мастики, предварительно разогретой до 140...160 °С. После этого образец 2 ч выдерживают в нормальных условиях, а затем вместе со стержнем, диаметр которого принят для соответствующей марки мастики, помещают в сосуд с водой, температура которой должна быть $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$, и выдерживают в нем в течение 15 мин. По прошествии указанного времени образец медленно изгибают по полуокружности стержня в течение 5 с лицевой поверхностью (мастикой) наружу. Мاستику считают выдержавшей испытание на гибкость для данной марки, если на поверхности образца не образуется трещин.

Результаты испытаний рекомендуется записывать по форме:

1. Проектируемая марка мастики -
2. Количество легплавкого битума марки ..., %,....
3. Количество тугоплавкого битума марки %,....
4. Температура размягчения битумного вяжущего, $^\circ\text{C}$,....
5. Вид наполнителя
6. Содержание наполнителя в мастике, %,....
7. Теплостойкость мастики, $^\circ\text{C}$,....
8. Температура размягчения мастики, $^\circ\text{C}$,... .
9. Гибкость мастики на стержне диаметром, мм,....
10. Вывод: мастика соответствует марке

8. Практическое занятие №8

8.1. Методы испытания рулонных отечественных материалов (теоретические сведения)

Для рулонных кровельных и гидроизоляционных битумных и дегтевых материалов установлены основные показатели: разрывная нагрузка при растяжении, гибкость, масса прокровного состава, масса основы и отношение массы пропиточного состава к массе абсолютной сухой основы, водопоглощение, водонепроницаемость, температуроустойчивость, потеря массы при нагревании, прочность сцепления посыпки с покровным слоем, зерновой состав посыпки, снижение разрывной нагрузки водонасыщенных образцов при растяжении.

Каждое испытание проводят на трех образцах, отбор которых делают согласно ГОСТ 2678-87. Образцы перед проведением испытаний должны быть выдержаны не менее 2 ч при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Методы исследования

Определение разрывной нагрузки при растяжении. Сущность метода заключается в. определении средней нагрузки, необходимой для разрыва образцов размерами 50X220 мм.

Образцы помещают в зажимы машины без перекосов. Расстояние между зажимами должно быть не менее 175 мм. Для испытания используют разрывную машину марки РТ-250М-2 или аналогичные машины, имеющие рабочую часть шкалы в пределах от 0 до 1000 Н с ценой деления не более 2 Н. Скорость перемещения подвижного зажима (50 ± 5) мм/мин.

За величину разрывной нагрузки принимают среднеарифметическое результатов испытаний шести образцов (трех, вырезанных в поперечном направлении из рулона материала, и трех, вырезанных в продольном направлении).

Определение гибкости. Если материал не обладает необходимой гибкостью, установленной стандартом, то при разворачивании рулона или наклейке полотна на сильно изогнутые поверхности могут появляться трещины, уменьшающие водонепроницаемость материала.

Метод основан на изгибании образцов материала в виде полосы размером 20X150 мм по полуокружности металлического стержня и последующей визуальной оценке внешнего вида материала. Диаметр металлического стержня и температура воды в сосуде или воздуха в морозильной установке должны соответствовать требованиям на испытываемый

материал.

Образцы материала и стержень помещают в сосуд с водой и выдерживают в нем не менее 10 мин. При проведении испытаний при отрицательных температурах образцы и стержень выдерживают в морозильной камере не менее 20 мин. После выдержки каждый образец медленно изгибают по полуокружности стержня лицевой поверхностью вверх в течение 5 с. Время с момента изъятия образца из сосуда с водой или морозильной камеры и начала изгиба его не должно превышать 15с.

Материал удовлетворяет требованиям гибкости, если после испытаний на нем не возникает трещин и отслоений посыпки.

Определение массы покровного состава. От содержания покровной массы зависит водонепроницаемость и долговечность покровных материалов. Испытания проводят на образцах размерами 50X 100 мм.

а) Для материалов с пылевидной посыпкой. Перед испытанием образцы тщательно очищают от посыпки щеткой или сухой хлопчатобумажной тканью, взвешивают (m_1), а затем берут щипцами или пинцетом лицевой стороной вверх и подогревают над электроплиткой, нагретой до $(300 \pm 10)^\circ\text{C}$. При подогреве образец должен находиться на расстоянии 30...40 мм от поверхности электроплитки. В зависимости от температуры размягчения вяжущего и толщины покровного слоя образец нагревают в течение 15...45 с с таким расчетом, чтобы на обогреваемой поверхности не появились вздутия. Подогретый образец укладывают лицевой стороной на стол и ножом, перемещая его параллельно длинной стороне образца, снимают подогретый слой до основы, не нарушая при этом ее целостности.

Образец очищают от нижнего покровного слоя, взвешивают (m_2), а затем аналогично поступают с лицевым слоем покровного состава. Образец, очищенный с обеих сторон от покровного состава, взвешивают (m_3).

Массу покровного состава, г/м^2 , подсчитывают следующим образом:

с нижней стороны образца $M_{\text{н}} = (m_1 - m_2) \cdot 200$

с лицевой стороны образца $M_{\text{л}} = (m_2 - m_3) \cdot 200$

с нижней и лицевой сторон $M = M_{\text{н}} + M_{\text{л}}$

где 200 — переходный коэффициент от $0,005 \text{ м}^2$ (у образцов) к 1 м^2 .

б) Для материалов с крупнозернистой и чешуйчатой посыпками. Массу покровного состава с нижней стороны $M_{\text{н}}$ определяют как для материалов, имеющих пылевидную посыпку.

Для определения массы покровного состава с лицевой стороны с нее

снимают покровный слой вместе с посыпкой и помещают в сухую экстракционную гильзу.

Такую гильзу изготовляют из листа фильтровальной бумаги размерами 100X100...150X150 мм, высушенной до постоянной массы, в которую заворачивают экстрагируемый материал. Гильзу с покровным составом и посыпкой взвешивают (W_4) > помещают в экстрактор, заливают бензолом и начинают экстрагировать на водяной бане. Экстрагирование ведут до появления бесцветного раствора (у битумных материалов) или раствора, слегка окрашенного в желтый цвет (у дегтевых материалов). После экстрагирования гильзу с содержимым подсушивают в вытяжном шкафу до удаления растворителя, а затем высушивают в сушильном шкафу при температуре 105...110 °C до постоянной массы и взвешивают W .

Массу растворимой части покровного состава m , г, вычисляют по формуле:

$$m = m_4 - m_5$$

Массу покровного состава с лицевой стороны образца, г/м², подсчитывают по формуле

$$M'_n = \frac{200 \cdot 100m}{D \cdot (100 - N) / 100}$$

где D - растворимость битума или дегтя, %; N - содержание наполнителя в покровном составе, %.

Массу покровного состава для материалов с крупнозернистой, мелкозернистой и чешуйчатой посыпкой M' , г/м², определяют по формуле

$$M' = M'_s + M'_{дл}$$

Определение водопоглощения. Водопоглощение характеризуется количеством воды, которую впитывает сухой образец после погружения его на 24 ч в воду, температура которой (20 ± 2) °C.

Испытание проводят на образцах размерами 100X100 мм. Для устранения влияния капиллярного подсоса торцы образцов беспокровных материалов (пергамин, толь беспокровный) предварительно покрывают тонким слоем расплавленного битума. Для этого в битум, разогретый до температуры 170 °C, опускают поочередно все четыре торца образца на 3...5 мин, затем образцы охлаждают и взвешивают (W_i). После охлаждения образцы погружают на 1 мин в сосуд с водой, температура которой (20 ± 2) °C, вытирают мягкой тканью или фильтровальной бумагой в течение 30...60 с и вновь взвешивают (m_2). Подготовленные таким образом образцы помещают в сосуд с водой,

температура которой $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, так, чтобы высота водяного столба над ними была не менее 50 мм, и выдерживают в течение 24 ч. После суточной выдержки образцы извлекают из воды, обтирают фильтровальной бумагой и взвешивают (m_3). Время до взвешивания не должно превышать 60 с.

Водопоглощение в % (W_1) определяют по формуле

$$W_1 = \frac{m_3 - m_2}{m_1} 100$$

Водопоглощение в г/м^2 определяют по формуле

$$W_2 = (m_3 - m_2) 100$$

где 100 — переводной коэффициент для перехода от $0,01 \text{ м}^2$ образца к 1 м^2 материала.

Определение водонепроницаемости. Определение водонепроницаемости производят по времени, в течение которого образец не пропускает воду при постоянном гидростатическом давлении, или по величине гидростатического давления, выдерживаемого образцом в течение определенного времени.

Испытание проводят на образцах 130×130 мм. Прибор для определения водонепроницаемости представлен на рисунке 12.

Образец помещают между резиновыми прокладками прибора, закрывают плитой и плотно прижимают путем вращения винтов. С помощью кранов устанавливают в приборе давление, предусмотренное техническими требованиями на испытуемый материал. Образец выдерживают при постоянном давлении до появления капель воды на поверхности образца и фиксируют время, в течение которого образец не пропускал воду (испытание по времени, в течение которого образец не пропускает воду).

Образец закрепляют в приборе и создают заданное давление, как было указано выше. По истечении времени, установленного требованиями на материал, образец осматривают. На поверхности образца не должно появляться признаков просачивания воды (испытание по гидростатическому давлению, выдерживаемому образцом в течение определенного промежутка времени).

Определение прочности сцепления крупнозернистой посыпки с покровным слоем. Прочное сцепление крупнозернистой посыпки с покровным слоем гарантирует длительную защиту покровного материала от прямого воздействия солнечных лучей и механических повреждений.

Испытание производят на сухих образцах размером 50×170 мм с помощью прибора, представленного на рисунке 13.

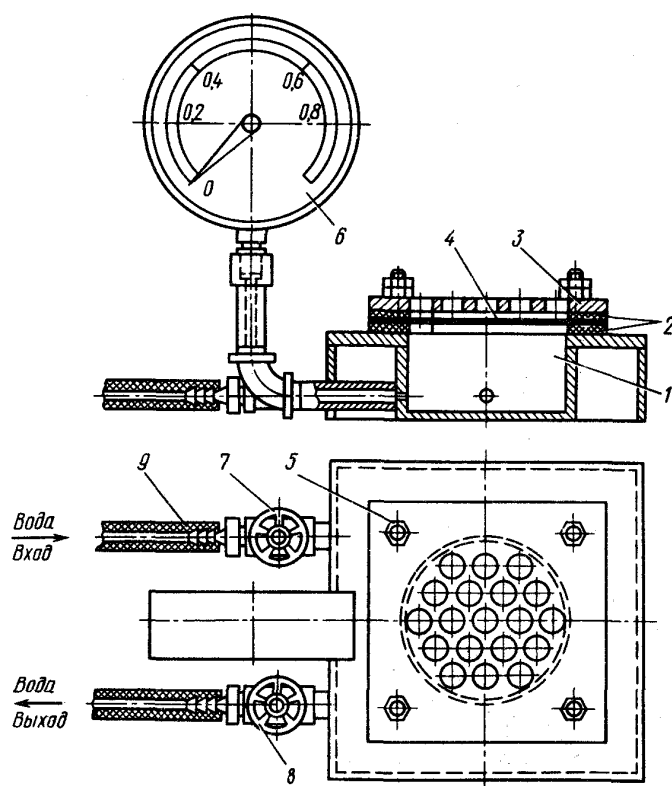
Образцы взвешивают (m_1) и помещают в захваты пластины прибора,

после чего начинают вращать ручку. При вращении ручки пластинка с образцом перемещается в двух взаимно противоположных направлениях с линейным отклонением от хода пластинки $\pm 1,5$ мм под щеткой с грузом в 2 кг. Число перемещений пластинки устанавливается нормативно-технической документацией на испытуемый материал. Образец после испытания освобождают от отлетевшей посыпки встряхиванием, а затем взвешивают (m_2).

Потерю посыпки Π , г, определяют как разницу массы образца до и после испытания:

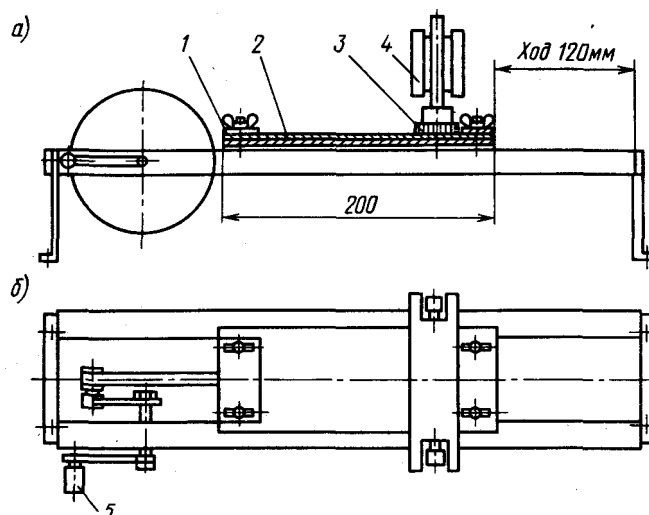
$$\Pi = m_1 - m_2$$

Определение температуростойчивости. Для испытания применяют образцы размерами 50X 100 мм. Сушильный шкаф нагревают до температуры, установленной техническими условиями на испытуемый материал. Образцы подвешивают в шкафу в вертикальном положении, так, чтобы они находились на расстоянии не менее 50 мм от стенок шкафа, и выдерживают в течение 2 ч при заданной температуре. Температуру в шкафу следует замерять термометром на уровне верха образцов. После выдержки образцы осматривают: отсутствие смещения покровного слоя или вздутий свидетельствует о достаточно температуростойчивом материале.



1 — корпус прибора; 2 — резиновые прокладки; 3 - прижимная плита; 4 - образец; 5 - зажимные винты; 6 - манометр; 7,8 -краны; 9 - резиновая трубка, соединяющая прибор с водопроводом

Рисунок 12- Прибор для определения водонепроницаемости



a — общий вид; *б* - план; 1 - захват; 2 - пластинки; щетка; 4 - груз; 5 - ручка

Рисунок 13- Прибор для определения потери посыпки:

8.2. Изучение новых видов рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов, изготавливаемых в России совместно с зарубежными фирмами по рекламным материалам

1. Цель работы

Пользуясь материалами рекламы и коллекцией образцов познакомиться с новыми видами кровельных и гидроизоляционных материалов; изучить их свойства и области применения.

2. Теоретические положения

Кровельные и гидроизоляционные строительные материалы испытывают влияние различных агрессивных факторов: переменной влажности, значительных колебаний температур и силовых воздействий статического и динамического характера, а в ряде случаев – и химически агрессивных сред. Свойства этих материалов должны обеспечивать их надежную работу в условиях эксплуатации.

Кровельные и гидроизоляционные материалы выпускаются в виде рулонов, листов, мастик, эмульсий, паст и штучных изделий. В зависимости от вида пропитки рулонные материалы разделяются на три основные группы: битумные, дегтевые и полимерные, но если в качестве исходного материала берется смесь дегтепродуктов с нефтяными битумами или полимерами, то получают дегтебитумные, дегтебитумнополимерные, резинобитумные и другие материалы.

Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы подразделяются также на основные (рубероид, толь, гидроизол), получаемые обработкой основы (кровельного картона, асбестового картона, стеклоткани, алюминиевой фольги и др.) органическими вяжущими (битумом, дегтем, полимерными веществами, их смесями), и безосновные (изол, бризол), получаемые путем прокатки на каландрах термомеханически обработанных смесей вяжущих с наполнителями и добавками в полотнища заданной толщины.

Рулонные, основные по структуре, материалы разделяются еще на покровные, получаемые путем пропитки основы органическими вяжущими и нанесением на пропитанную основу с двух сторон покровного слоя из органического вяжущего с наполнителем, и беспокровные, получаемые только путем пропитки основы органическими вяжущими.

Кровля из гибких рулонных материалов обычно состоит из нескольких слоев, которые образуют так называемый кровельный ковер. Битумные рулонные материалы приклеиваются к основанию, склеиваются между собой и иногда покрываются сверху битумными мастиками, а дегтевые материалы – дегтевыми мастиками. Поскольку кровельный картон в определенных условиях может подвергаться гниению, для гидроизоляционных работ в ответственных сооружениях выпускают специальные рулонные материалы, у которых основой служит асбестовый картон, стеклоткань или алюминиевая фольга, не подверженные гниению (гидроизол, стеклорубероид, фольгоизол и др.)

3. Приборы и оборудование

Увеличительное стекло - лупа, настольная лампа.

4. Материалы

Коллекция образцов, рекламные проспекты; учебная, техническая и публицистическая литература.

5. Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с материалами рекламы и коллекцией материалов.
2. Оценить свойства материалов, сравнивая их со свойствами традиционных строительных материалов.
3. Изучить исходное сырье для производства материалов.
4. Выявить специфические свойства материалов.
5. Описать область применения материалов.

6. Разобраться в месте расположения данного материала в конструкциях.

7. Изучить технологию применения материала.

Порядок описания материалов:

1. Название материала и фирмы изготовителя.
2. Исходное сырье для получения данного материала.
3. Вид продукции (форма).
4. Свойства материала.
5. Специфические свойства материала.
6. Применение материала.
7. Технология применения материала (графические пояснения).

Библиографический список

1. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2ч. Ч.2. Стеновые материалы и изделия: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / В.Ф. Завадский. - М. : Издательский центр «Академия», 2012. – 192 с.
2. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2ч. Ч.1. Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / О.А. Игнатова. - М. : Издательский центр «Академия», 2012. – 288 с.
3. Вешневская В.Г. Неразрушающие методы испытаний строительных материалов : учебно-методическое пособие (лабораторный практикум) для студентов направления подготовки 08.03.01 Строительство (профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций») / Вешневская В.Г., Корниенко С.В., Малинин Д.Г.. — Макеевка : Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2020. — 91 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/93866.html> (дата обращения: 27.12.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
4. Гилязидинова, Н. В. Строительные материалы : учебное пособие / Н. В. Гилязидинова, Т. М. Федотова, В. Б. Дуваров. — Кемерово :КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2019. — 172 с. — ISBN 978-5-00137-050-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/122210> (дата обращения: 27.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей
5. Дворкин Л.И. Строительное материаловедение [Электронный ресурс]/ Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.— Электрон. текстовые данные.— М.: Инфра-Инженерия, 2013.— 832 с.
6. Кононова О.В. Современные отделочные материалы [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кононова О.В.— Электрон. текстовые данные.— Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, Поволжский государственный технологический университет, ЭБС АСВ, 2010.— 97 с.
7. Дворкин Л.И. Строительные минеральные вяжущие материалы [Электронный ресурс]: учебно-практическое пособие/ Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.— Электрон. текстовые данные.— М.: Инфра-Инженерия, 2013.— 544 с.
1. 8. Дергунов С.А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства) [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Дергунов С.А., Орехов С.А.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2012.— 106 с.