294
1152

АКАДЕМИЯ АРХИТЕКТУРЫ СССР
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

КЕРАМЗИТОВЫЙ ГРАВИЙ

С. П. ОНАЦКИЙ

294377

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ
МОСКВА 1953

48/IV+57/III
294
1152
1954
09

АКАДЕМИЯ АРХИТЕКТУРЫ СССР

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

КЕРАМЗИТОВЫЙ ГРАВИЙ

Исследование глин и опыт получения керамзита

*

С. П. ОНАЦКИЙ
канд. техн. наук

294377

*

Государственное издательство
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ
Москва — 1953

Научный редактор — инж. *В. Д. Несов*

В брошюре изложены результаты лабораторных исследований глин и полузаводских опытов получения керамзитового гравия, а также приведены сведения об основных свойствах керамзита и керамзитобетона.

Брошюра предназначена для инженерно-технических и научных работников промышленности строительных материалов, строительной индустрии, проектных и научно-исследовательских организаций.

ВВЕДЕНИЕ

Большой интерес, проявляемый строителями и технологами к сравнительно новому материалу—керамзиту, объясняется высокими качествами керамзита как заполнителя легких бетонов и легких железобетонных конструкций.

Согласно неоднократно проверенным экспериментальным данным на основе керамзита можно получить легкие бетоны, обладающие широким диапазоном основных строительных свойств. Предел прочности этих бетонов при сжатии составляет 25÷500 *кг/см*², а объемный вес — соответственно 600÷1 800 *кг/м*³.

Как материал минерального происхождения, прошедший термическую обработку при температурах 1100÷1300°, керамзит не имеет в своем составе вредных для цемента примесей, огнестоек, морозоустойчив и, обладая высокоразвитой системой преимущественно закрытых пор, отличается высокими звуко- и теплозащитными свойствами.

Очевидно, что керамзитобетон с такой характеристикой можно с успехом применять как в несущих и ограждающих элементах конструкций, так и в качестве теплоизоляционного материала.

Керамзитобетон имеет наибольшую перспективу применения при изготовлении элементов сборных перекрытий, стеновых однослойных панелей, разного рода блоков, плит, а также в качестве теплоизоляционного заполнителя несущих тонкостенных рамок и оболочек из тяжелого бетона для стеновых панелей. Применение в этом случае керамзитобетона позволяет многослойные панели указанного типа заменить однослойными, поскольку теплоизоляционный керамзитобетон приготовляют по той же технологии, что и тяжелый бетон для рамок и оболочек.

Работники советской науки и промышленности, настойчиво разрабатывая проблему изготовления и применения керамзита, добились значительных успехов. Этому способствовало бурное развитие в нашей стране силикатной промышленности и науки о силикатах.

Фундаментальные труды академиков В. И. Вернадского, А. А. Байкова и Д. С. Белянкина оказали огромное влияние на развитие науки о силикатах и технологии их производства.

Действ. чл. Академии наук Украинской ССР П. П. Будников в своих трудах развил такие важные разделы физико-химии силикатов, как учение о реакциях в твердых фазах, спекании, катализаторах, взаимодействии твердых компонентов силикатных масс с газовой средой и т. д.

Общеизвестны труды по физико-химии силикатов и строительным материалам Б. С. Швецова, В. Н. Юнга, И. Ф. Пономарева, Н. А. Попова, Б. Г. Скрамтаева, А. Н. Августинника и др.

Первые научно-экспериментальные работы по изучению керамзита были проведены предложившим этот материал проф. Е. В. Костырко. В дальнейшем в разработке вопросов технологии производства керамзита и изучении физико-химической сущности его образования приняли участие многие исследователи. Наиболее значительными являются работы П. П. Щемелева, И. А. Гервидса, Г. Л. Лагунова, П. И. Галкина, Б. Н. Кауфмана, В. С. Вдовьевой, С. П. Логинова, Н. И. Голюнова и изобретателя Ф. Ф. Собесского.

Одновременно с разработкой технологии производства керамзита были начаты исследования керамзитобетона. Наиболее полная характеристика керамзита как заполнителя легких бетонов и керамзитобетона дана в известных исследованиях по этим вопросам действ. чл. Академии архитектуры СССР проф. Н. А. Попова. В последние годы широкую известность получили исследования А. И. Ваганова, разрабатывающего теорию керамзитобетона и изучающего практику его применения в специальных областях строительной техники.

В предвоенные годы экспериментальные работы по изготовлению керамзита были впервые вынесены из опытно-лабораторной обстановки в условия опытно-заводского производства. Первые опыты получения керамзитового гравия во вращающихся печах полузаводского типа были проведены И. П. Сафроновым в 1935 г. и С. П. Логиновым с его сотрудниками в 1938 г.

Следует, однако, признать, что развитие производства керамзита все еще отстает от требований строительной практики. Это обстоятельство можно объяснить трудностями научно-экспериментального изучения сложных процессов вспучивания глинистых материалов и недостаточной разработанностью принципов заводского изготовления керамзита, в особенности его термической обработки, а также имевшими место фактами пренебрежительного отношения производственников к данным научного эксперимента.

В послевоенный период научно-экспериментальные работы по изучению производства керамзита были сосредоточены в Институте строительной техники Академии архитектуры СССР. На основе собственных исследований и с учетом предшествующего опыта институт разработал предложения по технологии

заводского производства керамзитового гравия; при этом был обоснован вытекающий из физико-химической природы процессов вспучивания глинистых материалов важнейший принцип технологии производства керамзита, заключающийся в двухступенчатой термической обработке по схеме:

а) первая ступень — тепловая обработка полуфабриката до температуры 300÷700°, целью которой является высвобождение избытка газообразных продуктов и придание материалу термической стойкости, т. е. способности не подвергаться разрушению на мелкие части при введении полуфабриката в область высоких температур и при необходимости насытить его сажистым углеродом восстановительной атмосферы;

б) вторая ступень — обжиг при температурах вспучивания полуфабриката.

При этом важным условием правильно проведенных процессов предварительной подготовки материала перед вспучиванием и самого вспучивания является соблюдение оптимального времени, необходимого для завершения указанных процессов при заданных температурах. Длительная задержка полуфабриката в зоне предварительной подготовки, в особенности при температурах выше 500°, приведет к потере парообразующей способности материала, поскольку из него могут быть удалены полезные для процесса вспучивания продукты. При недостатке же времени для подготовки полуфабрикат может разрушиться.

Время, необходимое для процесса вспучивания в зоне максимальных температур, определяется требованиями к физико-механическим свойствам готового продукта и должно корректироваться технико-экономической целесообразностью.

Учитывая изложенное, автор предложил два варианта технологической схемы заводского производства керамзита:

а) вариант технологической схемы производства, предусматривающий совмещение предварительной тепловой обработки полуфабриката с обжигом его в одной вращающейся печи с применением надежных способов регулирования нагрева рабочего пространства печи, ее футеровки, мощности факела горения и его длины, а также с созданием необходимой газовой среды, что в совокупности обеспечит условия для правильного проведения процесса вспучивания;

б) вариант технологической схемы производства керамзита, предусматривающий раздельную предварительную тепловую обработку полуфабриката в отдельном аппарате типа контейнера или барабана и скоростной обжиг подогретого полуфабриката в короткой вращающейся печи при температурах его вспучивания.

Хотя лабораторные исследования и предварительные опыты в полузаводских условиях, проведенные автором в 1948—1949 гг., подтвердили правильность основных положений технологии, было решено впредь до намечаемой постройки ряда ке-

рамзитовых заводов провести серию опытов в полузаводских условиях на различном глинистом сырье и во вращающейся печи, по размерам приближающейся к коротким промышленным трубчатым печам, предназначенным для обжига керамзита.

Такие опыты были организованы и проведены в течение последних лет, и настоящая брошюра посвящена рассмотрению их.

В первой главе изложены результаты экспериментальных исследований по вспучиванию наиболее типичных легкоплавких глин Подмосковья и окрестностей г. Ленинграда в лабораторных условиях и в условиях полузаводского производства керамзита во вращающейся печи, а также результаты исследования керамзита и керамзитобетона. Эти работы выполнены автором под общим руководством действ. чл. Академии архитектуры СССР проф. Н. А. Попова в Научно-исследовательском институте строительной техники Академии архитектуры СССР. Работы по обжигу керамзита были проведены при участии начальника опытного завода «Гипроцемент» лауреата Сталинской премии Н. В. Мухина.

Во второй главе изложены результаты лабораторных исследований автора по вспучиванию глинистого сырья во влажном состоянии и намечены некоторые пути рационализации технологии производства керамзита.

Институт строительной техники
Академии архитектуры СССР

Глава I

ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

1. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛИН

1) Выбор сырья

Для производства керамзита пригодны местные легкоплавкие глинистые породы: сланцы, глины и суглинки. Как показывает опыт, лучшим глинистым сырьем следует считать такие его разновидности, которые:

а) содержат не менее 7÷8% окислов железа;

б) имеют в своем составе тонкодисперсные органические вещества в виде гумуса;

в) в текстурном отношении однородны и не содержат включений в виде дутиков, камней, сернистых соединений и пр.;

г) имеют условную температуру плавления, не превышающую 1300°;

д) при обжиге допускают большой интервал размягчения, без перехода в жидкоподвижное состояние;

е) в природном состоянии не переувлажнены, а еще лучше— камнеподобны;

ж) после скоростного обжига гранул образуют прочную наружную оболочку керамзита, а в середине — мелкопористую структуру и закрытые поры.

Легкоплавкие глины, содержащие менее 5% окислов железа или вредные включения, относятся к разряду низкосортного сырья.

Из большого количества разных глин, исследованных автором в лабораторных условиях, для опытно-промышленного опробования были отобраны пять разновидностей глинистых пород Подмосковья и окрестностей г. Ленинграда, имеющих наибольшее распространение:

а) ленточная глина Парсуковского карьера на р. Оке;

б) озерно-болотная глина Лианозовского месторождения по Савеловской линии Северной железной дороги;

в) суглинок Бескудниковского кирпичного завода близ Москвы;

г) кембрийская глина, г. Ленинград;

д) зыбкий пылеватый суглинок — кирпичный завод № 1, г. Ленинград.

В Подмосковье наиболее типичными и распространенными являются суглинистые, озерно-болотные и ленточные глины. Это обстоятельство и предопределило выбор указанных глин.

В г. Ленинграде и его окрестностях имеются мощные залежи кембрийской глины и зыбких пылеватых суглинков. Кембрийская глина до сих пор все еще мало используется в промышленности. Она находит применение в лепном деле и гончарном производстве. Лишь в последнее время ее начали применять в производстве строительного кирпича методом полусухого прессования, а также в качестве добавки к зыбким глинам с целью понизить влажность и сделать их пригодными для формовки кирпича на ленточном кирпичеделательном прессе. На местном кирпичном заводе кембрийскую глину добавляют к зыбким глинам в количестве около 30%.

2) Макроскопическое описание проб

а) Парсуковская глина — высокопластичная глинистая порода сланцеватого строения; цвет — темнобурый; сильно ожелезненная; обильно насыщена тонкодисперсным органическим веществом; в природном состоянии имеет влажность до 30%; при высыхании образует плотную легко поддающуюся дроблению камнеподобную массу; посторонних включений не обнаружено.

б) Лианозовская озерно-болотная глина — глинистая порода темносерого цвета; при разрыхлении распадается на отдельные комочки, окаймленные железистыми и гумусовыми наслоениями; при увлажнении быстро распускается и образует мелкодисперсную суспензию; посторонних включений не обнаружено.

в) Бескудниковская глина — рыхлая, легко распадающаяся на отдельные комочки, порода; строение характеризуется неоднородностью; при разрушении природной структуры неоднородный характер состава и строения наблюдается вплоть до мелких частичек сырья, причем последние окаймлены железистыми и волокнисто-органическими наслоениями; обнаружены включения камней.

г) Кембрийская глина — однородная окаменевшая порода зеленовато-серого цвета; при растирании обнаруживается весьма тонкая мелкозернистая структура; легко полируется; влажность в природном состоянии 6—8%.

д) Зыбкий пылеватый суглинок — цвет зеленовато-серый; влажность пробы — свыше 30%; уже при легком сотрясении теряет первоначальную форму и расплывается; обладает тиксотропными свойствами; посторонних включений не обнаружено.

3) Гранулометрический состав глин

Гранулометрический состав глин, определенный по методу Н. В. Рудковского, приведен в табл. 1.

Таблица

Гранулометрический состав глин

Наименование глин	Содержание глинистых частиц до 0,005 *мм* в %	Содержание песчаных частиц 1,0÷0,05 *мм* в %	Содержание пылеватых частиц 0,05÷0,005 *мм* в %
Парсуковская	46,26	12,80	40,94
Лианозовская	30,10	18,00	50,90
Бескудниковская	18,10	12,80	78,10
Кембрийская	36,26	21,00	42,74
Зыбкий суглинок	18,13	18,00	63,87

4) Пластичность глин

Данные о пластичности глин приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели пластичности глин

Наименование глин	Верхний предел пластичности	Нижний предел пластичности	Число пластичности	Класс
Парсуковская	41	23	18	I
Лианозовская	35	20	15	I
Бескудниковская	33	24	9	II
Кембрийская	36	21	15	I
Зыбкий суглинок	35	25	10	II

5) Коэффициент чувствительности глин к сушке и влажность рабочей массы

В табл. 3 приведены коэффициенты чувствительности глин к сушке по методу В. А. Носовой и влажность рабочей массы.

Таблица 3

Коэффициент чувствительности к сушке и влажность рабочей массы

Наименование глин	Коэффициент чувствительности к сушке	Влажность рабочей массы в %
Парсуковская	1,2	28,0
Лианозовская	1,1	22,0
Бескудниковская	1,3	20,0
Кембрийская	1,0	22,7
Зыбкий суглинок	0,7	27,3

6) Спекание глин

Данные о спекании глин приведены в табл. 4.

Таблица 4

Спекание глин

Наименование глин	Температура в град.	Водопоглощение в %	Температура в град.	Водопоглощение в %	Температура в град.	Водопоглощение в %	Температура в град.	Водопоглощение в %	Условная температура плавления в град.
Парсуковская	900	12,1	1 000	7,3	1 100	3,4	1 200	Вспучилась	1 250
Лианозовская	900	14,3	1 000	9,2	1 100	5,4	1 200	0,80	1 300
Бескудниковская	900	16,4	1 000	12,3	1 100	9,2	1 200	1,80	1 380
Кембрийская .	900	13,6	1 000	10,5	1 100	7,5	1 200	0,40	1 320
Зыбкий суглинок . . .	900	15,4	1 000	12,9	1 100	0,2	1 200	0,05	1 290

7) Валовой химический состав глин

Данные о валовом химическом составе глин приведены в табл. 5.

Таблица 5

Валовой химический состав

Наименование глин	Потеря при прокаливании	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	R_2O	SO_3	Сумма
Парсуковская	8,03	52,30	21,43	11,16	2,36	2,17	3,45	0,10	101,00
Лианозовская	8,12	61,14	16,80	6,83	1,40	2,12	3,59	—	100,00
Бескудниковская	3,28	70,67	16,20	3,81	1,36	1,79	3,54	0,06	100,41
Кембрийская .	5,49	64,37	14,93	8,33	0,52	1,82	4,36	0,17	99,99
Зыбкий суглинок . . .	4,30	61,90	16,77	7,30	1,67	2,37	5,60	0,30	100,24

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРОБОВАНИЕ ГЛИН НА ВСПУЧИВАНИЕ

Для экспериментального опробования[1] глин на вспучивание были приготовлены массы составов, указанных в табл. 6.

[1] В экспериментальных работах принимали участие сотрудники Научно-исследовательского института строительной техники Н. А. Диканова и В. П. Филиппова.

Таблица 6

Составы глиняных масс в % для испытания на вспучивание

Лабораторные номера	Парсуковская глина	Лианозовская глина	Бескудниковская глина	Кембрийская глина	Пылеватый суглинок
1	100	—	—	—	—
2	—	100	—	—	—
3	—	—	100	—	—
4	—	—	—	100	—
5	—	—	—	—	100
6	—	—	—	30	70

1) Методика исследований

Из каждой изучаемой массы было приготовлено 2÷3 *л* сфероидов диаметрами 7÷20 *мм*. Сфероиды были распределены на две партии. Первая партия была предназначена для обжига в окислительной среде; вторая — для обжига в восстановительной среде.

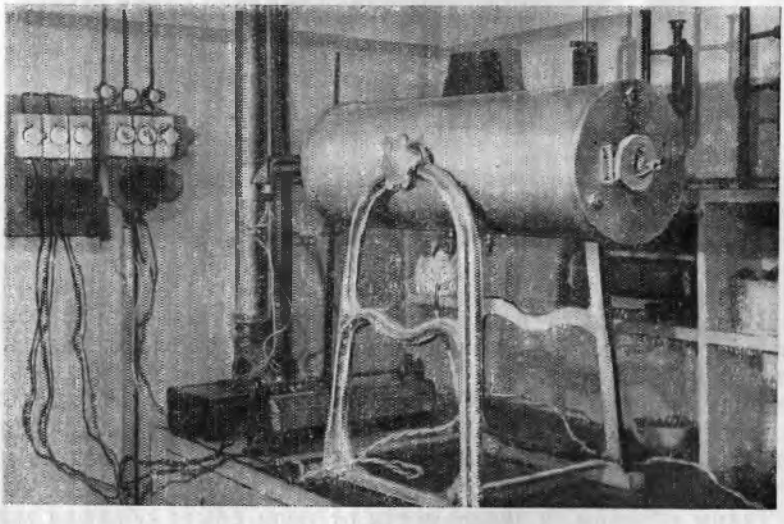


Рис. 1. Трубчатая электрическая печь, рассчитанная на температуру 1200°

Подсушку образцов производили в термостате при температуре 20÷100°. Обжиг производили в лабораторных электропечах с нагревательным элементом из сплава № 2 (рис. 1) и в трубчатой молибденовой печи, рассчитанной на максимальную темпера-

туру 1450°, диаметром рабочего пространства, равным 40 *мм* (рис. 2).

Температуру контролировали платино — платино-родиевой термопарой с гальванометром. Термопару устанавливали с конца печи, противоположного месту ввода образцов. Обжигаемые образцы вводили в печь подкатыванием; при этом их располагали в непосредственной близости от места спая термопары. Для предохранения сфероидов от прилипания к огнеупорной футеровке образцы укладывали на лист асбестового картона.

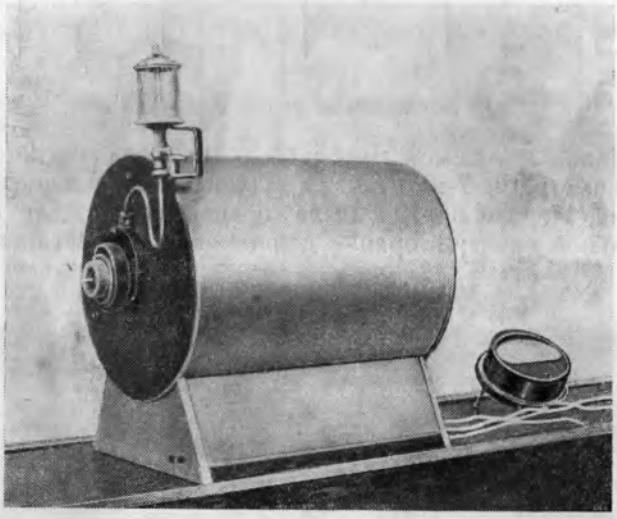


Рис. 2. Трубчатая электрическая печь, рассчитанная на температуру 1450°

В зависимости от целей обжига продолжительность пребывания сфероидов в зоне максимальной температуры колебалась от 3 до 10 мин. Замедленное нагревание сфероидов достигалось постепенным проталкиванием их от места загрузки с минимальной температурой до зоны с максимальной температурой. Предварительный подогрев до температуры 300÷500° части образцов производили в муфельной электрической печи.

Таким образом, в зависимости от цели опыта образцы могли подвергаться обжигу по режиму:

а) постепенного нагрева от комнатной температуры до температуры их вспучивания;

б) с предварительным подогревом до определенной «температуры подготовки» с последующим вводом их в область максимальных температур.

На основании ранее проведенных опытов [22] [1] были приняты максимальные температуры обжига: 1150, 1200, 1250 и 1300°.

Обжиг на вспучивание образцов в восстановительной среде проводили как в лабораторном керосиновом горне, так и в элек-

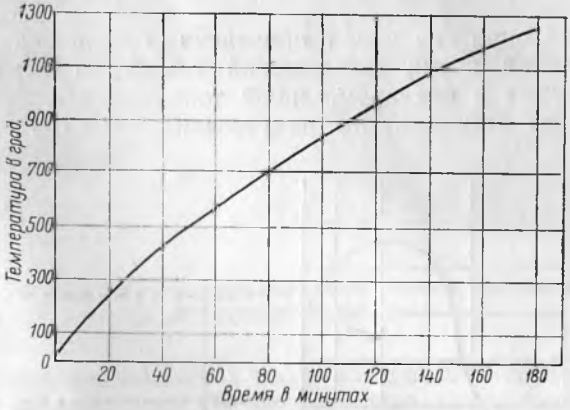


Рис. 3. Кривая подъема температуры в трубчатой электропечи при постепенном выводе реостата

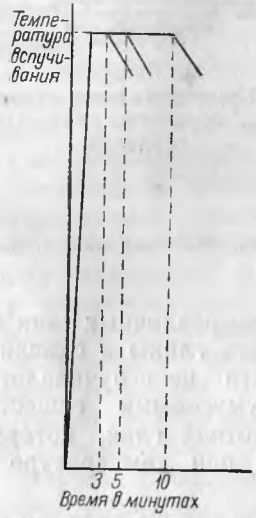


Рис. 4. Кривые термической обработки увлажненных глинистых материалов без предварительной тепловой обработки

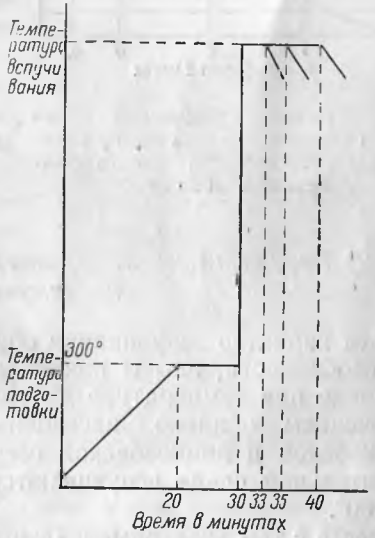


Рис. 5. Кривые термической обработки глинистых материалов с предварительной тепловой обработкой образцов при температуре 300°

[1] Цифры в скобках означают ссылки на использованную литературу, список которой приведен в конце брошюры.

тропечи. В последнем случае восстановительная среда создавалась за счет активизированного угля, который вносили в рабочее пространство печи на специальных фарфоровых лодочках.

На рис. 3, 4, 5 и 6 показаны кривые термической обработки при обжиге образцов в лабораторных электропечах и керосиновом горне.

Для сравнения на рис. 7 приведена предложенная автором принципиальная схема термической обработки керамзита для условий обжига с предварительной тепловой обработкой полуфабриката до «температуры подготовки» 300÷700°.

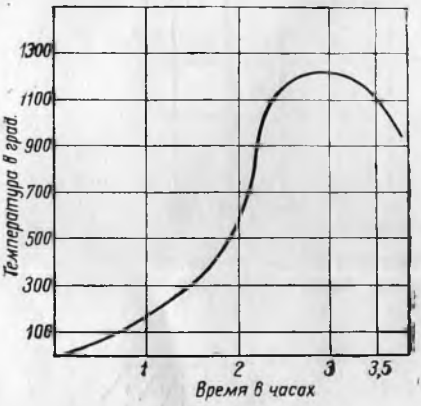


Рис. 6. Кривая термической обработки глинистых материалов в керосиновом горне при восстановительном обжиге

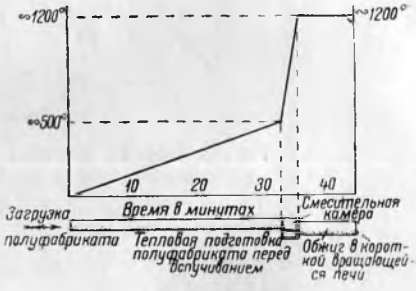


Рис. 7. Принципиальная схема термической обработки глинистых материалов

2) Результаты лабораторных исследований глин на вспучивание

Хотя характер вспучивания образцов из различных глин имеет свои особенности, опыты показали, что все глины в окислительной среде при температуре до 1290° почти не вспучивались, за исключением обильно насыщенных гумусовыми веществами парсуковской и лианозовской озерно-болотной глин, которые в окислительной среде вспучиваются уже при температуре около 1150°.

Вместе с тем экспериментальный обжиг тех же глин, но в восстановительной среде показал, что процесс вспучивания достигает удовлетворительной интенсивности при температурах 1100÷1200°.

Внешний вид некоторых образцов керамзитового гравия, обожженного в восстановительной среде, показан на рис. 8 и 9.

Следует подчеркнуть характерную особенность образцов керамзита, полученного из ленинградских и лианозовской озерно-

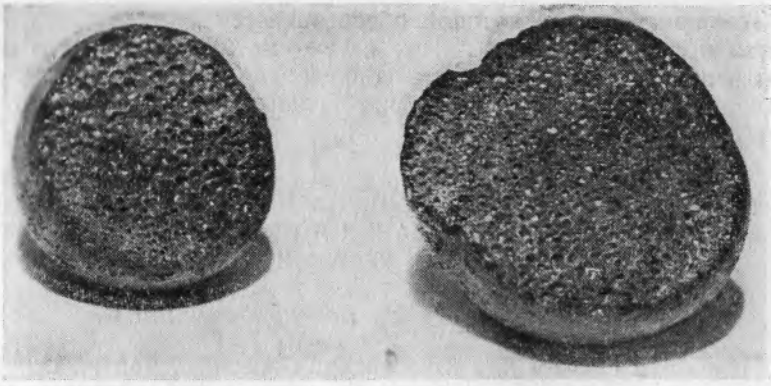


Рис. 8. Вид образцов керамзитового гравия, обожженного в восстановительной среде

болотной глин при обжиге в восстановительной среде. В отличие от других образцов они имеют типичную для керамзита равномерно-пористую структуру. Почти все поры закрыты, а стенки их оплавлены. Образцы обладают высокой прочностью. В изломе образцов не отмечаются каверны и другие искажения структуры.

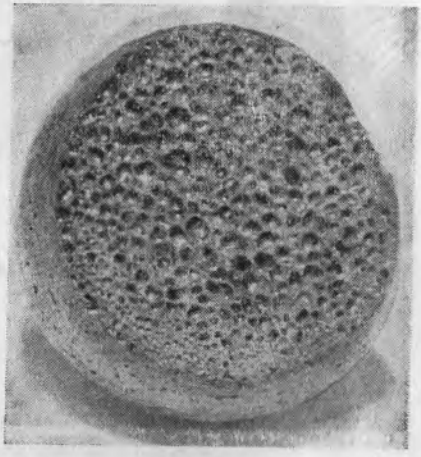


Рис. 9. Вид образца керамзитового гравия, обожженного в восстановительной среде

Лабораторный опыт показал необходимость предварительной тепловой обработки образцов перед их вспучиванием. Оказалось, что режим обжига, предусматривающий постепенный нагрев образцов от низких до высоких температур, не приводит к положительным результатам. Даже парсуковская глина, обладающая чрезвычайно высоким свойством вспучивания, теряет это свойство при таком способе обжига. С другой стороны, воздушно-сухие образцы, введенные в область температур их вспучивания, настолько сильно разрушаются на мельчайшие осколки, что не представляется возможным обеспечить надлежащую гранулометрию готового продукта.

Очевидно, что глинистый материал перед его вспучиванием должен быть подвергнут предварительной тепловой обработке.

Температура, при которой обеспечивается «термическая стойкость» полуфабриката и вместе с тем не нарушается его свойство вспучивания, может быть определена опытным путем. Для большинства испытанных автором глин указанная температура колеблется в пределах 300÷700°.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПОЛУЗАВОДСКИХ УСЛОВИЯХ ГЛИН НА ВСПУЧИВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНЫХ ПАРТИЙ КЕРАМЗИТА

1) Приготовление полуфабриката

Исходным сырьем для изготовления опытных партий керамзита послужили глины, исследованные ранее в лабораторных условиях, за исключением ленинградского пылеватого суглинка, который вследствие переувлажнения его в природном состоянии был использован в смеси с 30% порошка кембрийской глины.

Вопросы изготовления исходного полуфабриката для производства керамзита во вращающейся печи имеют первостепенное как технологическое, так и технико-экономическое значение. Изыскание и освоение простых, дешевых и надежных способов приготовления полуфабриката являются важной задачей технологов и конструкторов.

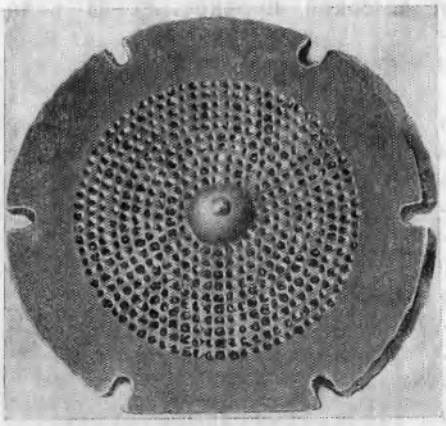


Рис. 10. Вид плиты-мундштука с отверстиями для выхода глиняных жгутов

Отсутствие экспериментально-проверенных способов и надлежащего опыта изготовления керамзитового гравия на разнотипном сырье побудило автора провести ряд изысканий в этой области.

а) Изготовление цилиндриков на ленточном вакуумпрессе промышленного типа. При выборе типа пресса была учтена первоочередная потребность в опробовании ленточного вакуумпресса марки СМ-29, устанавливаемого на Бескудниковском опытном заводе керамзитового гравия.

Основные паспортные показатели работы вакуумпресса СМ-29 следующие: производительность — 1 000÷1 500 шт. кирпича в 1 час; число об/мин — 14; величина вакуума — 500÷600 *мм* вод. ст.

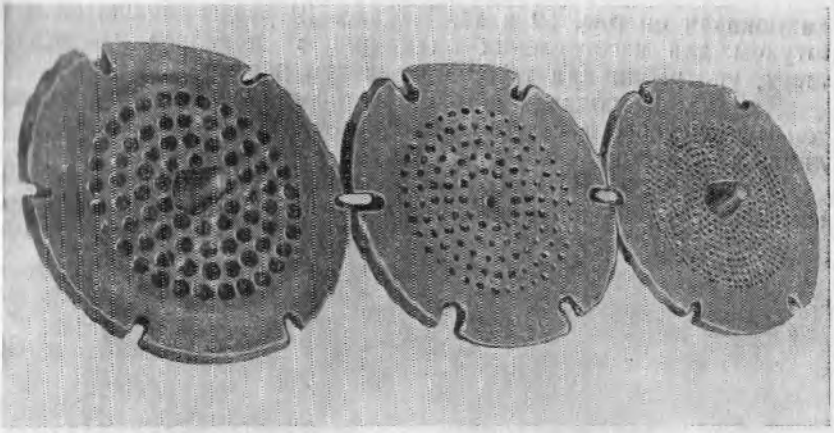


Рис. 11. Вид мундштуков с отверстиями различных размеров для выхода глиняных жгутов

Следует отметить, что при гарантийной паспортной производительности этих прессов в количестве 1 000÷1 500 шт. кирпича в 1 час фактическая производительность прессов первого выпуска оказалась ниже.

Для производства работ была изготовлена специальная металлическая плита-мундштук с отверстиями в ней для выхода бесконечных лент-цилиндриков диаметрами 7, 12 и 16 *мм*. Плиту устанавливали на место обычного формующего кирпич мундштука и закрепляли болтами. Общий вид плиты-мундшту-

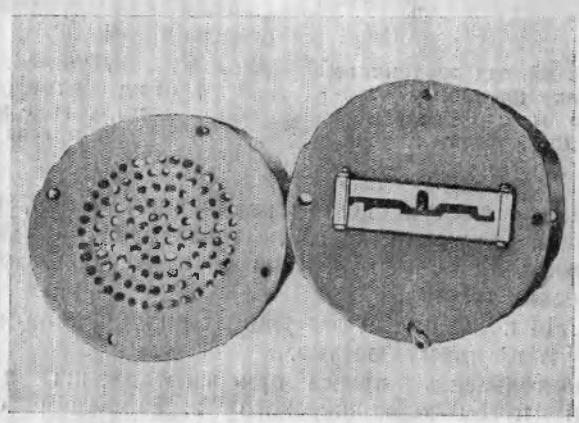
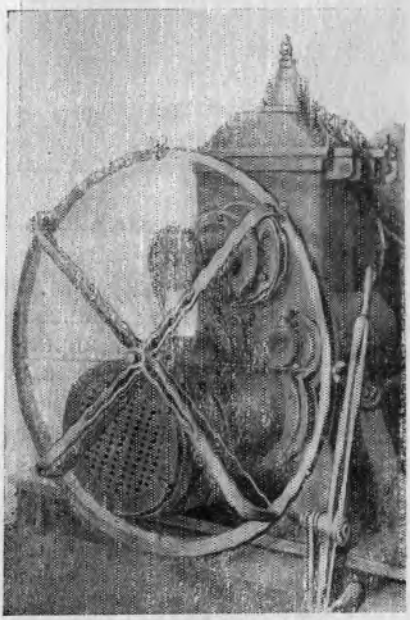


Рис. 12. Общий вид мундштука для изготовления черепицы и плиты-мундштука для приготовления цилиндриков

ка показан на рис. 10 и 11. На рис. 12 рядом с плитой-мундштуком для изготовления цилиндриков показана плита-мундштук, употребляемая при изготовлении черепицы.

На рис. 13 показан общий вид пресса с закрепленной плитой-мундштуком и с резательным аппаратом для отрезки цилиндриков перед включением пресса в работу.

В процессе работы по изготовлению цилиндриков заметных изменений в рабочем ходе пресса не отмечалось. Глиняная мас-



Рис, 13. Общий вид ленточного пресса с закрепленной плитой-мундштуком и с резательным аппаратом для отрезки цилиндриков

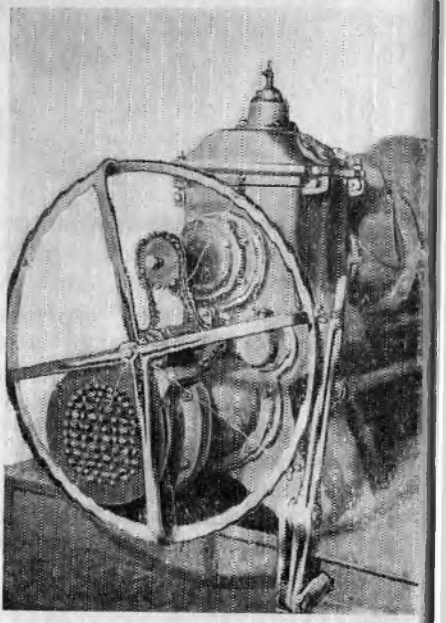


Рис. 14. Вид цилиндриков по выходе их из пресса

са, непрерывно поступавшая через глиномешалку, равномерно воспринималась шнеком пресса, направлялась в вакуумкамеру и затем выходила через отверстия в плите-мундштуке в виде цилиндрических жгутов.

На рис. 14 показан вид отрезанных цилиндриков и жгутов по выходе их из плиты-мундштука.

Производительность пресса при изготовлении цилиндриков определяли путем периодического взвешивания отрезанного материала за промежутки времени, равные 5 мин.

На основании средних показателей выхода цилиндриков за

5 мин. был произведен расчет фактического выпуска цилиндриков в 1 час.

Сопоставление пропускной способности вакуумпресса при изготовлении кирпича и цилиндриков показало, что заметных изменений в производительности пресса нет. В работе вакуума также не отмечено каких-либо нарушений. Его величина составляла 500÷600 *мм* вод. ст.

Основные выводы из опыта:

1) производительность вакуумпресса СМ-29 (по весу пропущенной глины) при переходе его от изготовления кирпича к изготовлению цилиндриков существенно не изменяется;

2) механическая нагрузка на пресс увеличивается на 15÷20%;

3) для обеспечения равномерного выхода цилиндриков из пресса необходимо точно рассчитать сопротивление в плите-мундштуке и равномерно распределить отверстия в плите;

4) во избежание засора отверстий в плите-мундштуке необходима хорошая предварительная обработка сырья с удалением из глиняной массы посторонних включений, особенно волокнистых веществ и камней; недопустима также примесь к глине опилок.

б) Изготовление исходного полуфабриката в виде цилиндриков на ленточном перегонном прессе Гипроцемента. Ленточный перегонный шнековый пресс Гипроцемента представляет собой агрегат с цилиндром диаметром 300 *мм*, используемый для мятья и перегонки увлажненных силикатных масс. По инициативе начальника опытного завода лауреата Сталинской премии Н. В. Мухина этот пресс был использован для изготовления опытной партии полуфабриката в виде цилиндриков для последующего обжига их во вращающейся печи. Отверстия в плите-мундштуке имели диаметры 20 и 25 *мм*. Цилиндрики готовили из увлажненного порошка чистой кембрийской глины. Длина цилиндриков превышала их диаметр в $1\frac{1}{2}$÷2 раза. С целью выявления степени изменения формы при обжиге окатку цилиндриков в сфероиды не производили.

При работе пресса не было отмечено каких-либо отклонений от его нормальной работы, например, перегрева, обратного хода глиняной массы и т. п.

в) Изготовление исходного полуфабриката в виде сфероидов способом грануляции глиняного порошка в барабане-грануляторе. Природную кембрийскую глину подвергали сначала дроблению, а потом измельчению и в виде порошка пропускали через гранулятор, имеющий следующую характеристику: длина барабана — 1,5 *м*, диаметр барабана — 0,6 *м*, скорость вращения барабана — 40 об/мин, производительность гранулятора — 2÷3 $м^3$/*час*.

Общий вид гранулятора показан на рис. 15. Процесс работы гранулятора заключается в следующем. Через небольшой бункер и шнековый питатель измельченная глина тонкой струей поступает во вращающийся барабан. Внутрь барабана, вдоль его оси вращения, трубопроводом подведена вода, падающие капли которой в результате быстрого вращения барабана и вы-

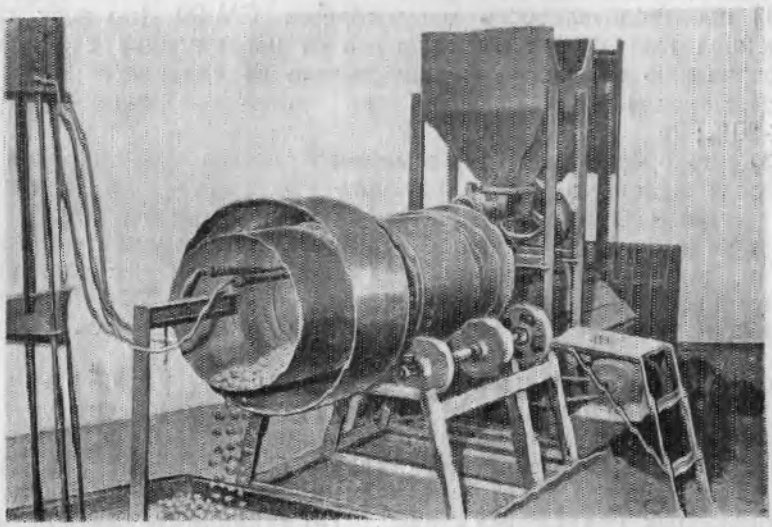


Рис. 15. Гранулятор для приготовления гранул полуфабриката

сокой гигроскопичности сухой глины способствуют образованию сгустков глиняной массы, постепенно превращающихся в гранулы сфероидальной формы. Размер гранул зависит от многих факторов, в частности от размера «капли» воды, на основе которой формируется гранула, и последующего слипания нескольких отдельных гранул в одну бо́льших размеров. На рис. 16 показан полуфабрикат, полученный методом грануляции в виде глиняных сфероидов.

На рис. 17 показан тот же полуфабрикат, но рассортированный на фракции различных размеров.

В результате опытов определились требования к качеству глиняного порошка.

Оказалось, что его влажность не должна превышать 3÷4%, а максимальная крупность зерен должна быть не больше 1 *мм* в поперечнике.

г) Изготовление исходного полуфабриката в виде глиняной крошки способом дробления на бегунах крупных кусков сухой природной

Рис. 16. Вид полуфабриката, полученного после грануляции глиняного порошка

или подсушенной глины. Излагаемый здесь способ приготовления исходного полуфабриката непосредственно из природной глины в виде крошки, а также обжиг ее был успешно опробован автором сначала в лабораторных условиях. Проверке в производственных условиях результатов лабораторных экспериментов придавалось большое значение. При этом особое внимание было обращено на проверку возможности получения таким методом керамзитового песка.

С этой целью добытая одноковшовым экскаватором в Парсуковском карьере глина автомашинами была доставлена в лабораторию и подсушена на открытом воздухе до влажности 10÷15%, после чего куски глины раздробили на бегунах. Полученная крошка имела размеры от 20 до 0 *мм* в поперечнике. Часть материала была просеяна через сита 0,15÷0,6 *мм*. Остаток на ситах был использован в качестве полуфабриката для изготовления керамзитового песка, а мелкий порошок — для изготовления на ленточном прессе цилиндриков диаметром 7 и 16 *мм*.

Для получения фракций керамзитового гравия средних размеров была приготовлена крошка размерами 5÷1,2 *мм* в поперечнике.

Рис. 17. Полуфабрикат, полученный грануляцией глиняного порошка и рассортированный на 5 фракций: 20÷40; 10÷20; 5÷10; 2,5÷5 и 0,6÷2,5 *мм*

Общее количество переработанной таким образом глины составило 6 $м^3$.

Так же методом дробления природного сырья была приготовлена для исследований крошка из ленинградской камнеподобной кембрийской глины.

2) Обжиг во вращающейся печи

Из различного типа современных промышленных печей трубчатые вращающиеся печи, получившие широкое распространение в цементном производстве, являются наиболее подходящими тепловыми агрегатами для термической обработки глинистых материалов при производстве керамзита. Эти печи позволяют создать наиболее выгодные технологические условия для скоростной термической обработки глинистого материала. При этом непрерывное движение глинистого полуфабриката с его перемешиванием обеспечивает равномерность обжига, а также препятствует слипанию сфероидов в конгломераты.

В настоящее время в цементной промышленности применяют трубчатые вращающиеся печи длиной до 150 *м* и диаметром свыше 2,5 *м*.

Время пребывания материала в зоне предварительной подготовки перед вспучиванием определяется физическим состоянием глинистого материала и его свойством противостоять действию разрушающих факторов при быстром нагревании.

Для многих глин, вспучивание которых в некоторой степени зависит от науглероживания сажистым углеродом по реакции

$$2CO \rightarrow CO_2 + C,$$

время, необходимое для предварительной тепловой обработки, и скорость, с которой можно провести этот процесс, лимитируются дополнительно скоростью науглероживания материала.

Время пребывания материала в области максимальной температуры обжига 1100÷1400° не должно превышать 10÷12 мин. и составляет обычно 7÷10 мин. Более продолжительное пребывание сфероидов в области максимальных температур обжига неминуемо приводит к понижению качества керамзита. В этом случае наблюдается слипание глинистого материала с образованием крупных конгломератов и плавление глины. Прохождение материала через зону максимальных температур обжига в срок менее 5÷7 мин. также недопустимо по технологическим условиям, так как процесс порообразования в материале за это время не будет закончен, поры будут недоразвиты и полученный керамзит будет обладать низкими техническими качествами.

При помощи мощных форсунок и сжигания соответствующего топлива можно создать во вращающейся печи область высо-

ких температур на протяжении 3÷4 *м* вдоль оси вращения печи (температура футеровки на этом протяжении практически должна быть одинаковой); поэтому с учетом времени, необходимого для пребывания глинистого материала в области максимальных температур вспучивания (7÷10 мин.), и времени, необходимого для проведения предварительной тепловой подготовки полуфабриката (20÷30 мин.), скорость движения его в печах составит 0,30÷÷0,45 *м* в 1 мин.

Такая скорость продвижения материала легко может быть достигнута определенным сочетанием числа оборотов печи при вращении и угла ее наклона.

Естественно, что во вращающихся печах, в которых способ сжигания и применяемый вид топлива не позволяют создать удлиненную зону максимальных температур вспучивания, допустимая скорость движения материала будет значительно меньше.

Максимально допустимая скорость прохождения материала v находится в прямой зависимости от длины зоны максимальных температур вспучивания:

$$v=\frac{l}{t},$$

где l — длина зоны максимальных температур;

t — время пребывания материала в области максимальных температур.

Ограниченные возможности создания удлиненной зоны максимальных температур обжига, обусловливающей максимально допустимые скорости движения материала и время его пребывания в печи, являются лимитирующим фактором при выборе размеров печей.

Сдерживающим началом для использования длинных печей в производстве керамзита является также фактор устойчивости полуфабриката против механических и термических воздействий, претерпеваемых материалом при быстром его передвижении вдоль оси вращения печи от входа к выходу.

Практически, в зависимости от длины зоны максимальных температур вспучивания, общая необходимая длина вращающейся печи может быть принята в пределах 8÷20 *м*. Указанная длина печи является вполне достаточной как для целей предварительной тепловой подготовки материала перед вспучиванием, так и для проведения самого процесса вспучивания.

Внутренний диаметр вращающихся печей, применяемых для обжига керамзитового гравия, не должен быть менее 1÷1,2 *м*.

При обжиге керамзита толщина слоя материала в печи должна быть не более 150÷300 *мм*. При большей толщине слоя может произойти слипание и неравномерный нагрев материала. Уменьшение диаметра печи против указанного приведет к резкому снижению производительности агрегата.

Применение для обжига керамзита печей диаметром более 1,8÷2,2 *м*, повидимому, также нецелесообразно вследствие плохого использования рабочего пространства печи.

С учетом высказанных соображений о допустимой толщине слоя полуфабриката в печи и возможной скорости движения материала производительность вращающихся печей длиной 8÷20 *м* и диаметром 1,0÷2,2 *м* составляет 2,0÷7,0 *м*³/*час*.

Обжиг керамзита производили в трубчатой вращающейся печи Гипроцемента длиной 7 *м* и диаметром 0,6 *м*. Такая печь по своим размерам вплотную приближается к наиболее коротким промышленным трубчатым печам, пригодным для заводского изготовления керамзита. В отличие от большинства цементно-обжигательных печей эта печь не имеет расширения в зоне максимальных температур, что устраняет излишне продолжительное пребывание материала в этой зоне и обеспечивает более легкое регулирование обжига и скорости движения материала.

Известно, что печи, имеющие расширение в зоне спекания, непригодны для производства керамзита. Опыты получения керамзита в печах, имеющих расширение, проведенные И. П. Сафроновым в 1935 г., С. П. Логиновым (с сотрудниками) в 1938 г. и автором в 1948 г., подтвердили это положение. При наличии расширения в печи часть материала неизбежно задерживается в зоне максимальных температур, где происходит его перегрев и сваривание; другая часть материала проходит через эту зону за время менее оптимального, необходимого для завершения процесса вспучивания. Поэтому обеспечить в таких печах равномерный обжиг материала затруднительно.

На рис. 18 показан внешний вид вращающейся печи со стороны выгрузочного отверстия.

Скорость вращения печи составляла 1,75 об/мин. Редуктор позволял изменять число оборотов печи от 1,5 до 4,0 в 1 мин. Печь была установлена с наклоном в 3°.

Материал для обжига загружали с площадки, расположенной над печью. Из мерного ведра сфероиды засыпали в специальный бункер-питатель (рис. 19). Скорость движения ленты-питателя составляла 0,6 *м* в 1 мин. Количество загружаемого в печь материала регулировали шибером бункера-питателя.

Обожженный материал по выходе из печи поступал в приямок и специально выложенные для этой цели закрытые закрома, где происходило медленное охлаждение его.

При выгрузке каждой порции керамзитового гравия определяли его насыпной вес.

Температуру факела горения систематически замеряли радиационным пирометром; температуру отходящих газов замеряли обычной термопарой с гальванометром.

Необходимая для обжига температура была достигнута через 2 час. 30 мин. с момента розжига печи. После установле-

ния постоянной температуры была начата загрузка материала. Выход обожженного продукта был зафиксирован через 40 мин.

Исходя из предположения, что перепад между температурой горячих газов и температурой материала в зоне максимальных температур, где происходит вспучивание, составляет не менее 150÷200°, и руководствуясь результатами изучения вспучивания глин, показавшими необходимость разогрева материала в восстановительной среде до температуры 1200°, а бескудниковских

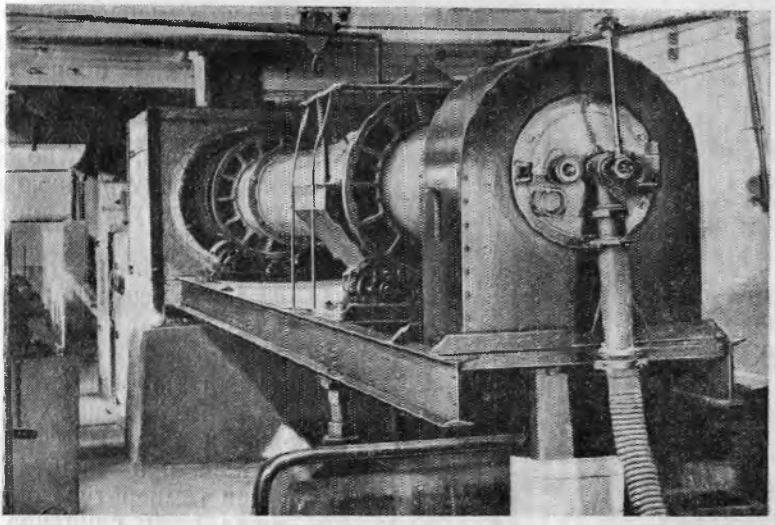


Рис. 18. Общий вид короткой вращающейся печи со стороны выгрузочного отверстия

глин — до 1250°, экспериментальные обжиги были начаты при температуре факела горения около 1350°.

Такое предположение оказалось правильным. Во вращающейся печи при температуре факела горения в пределах 1250÷1400° происходило вспучивание материала из всех глин той или другой интенсивности, а объемный вес керамзита в зависимости от температуры обжига и свойств исходного сырья в основном колебался в пределах 200÷700 *кг/м*^{3}. Это обстоятельство дало возможность удовлетворить желание строителей получить опытные партии керамзита особо легкого, легкого, среднего и тяжелого.

Особенности обжига и качество керамзита из различных глин в основном определяются свойствами исходного сырья.

Из смеси ленинградских глин (пылеватого суглинка — 70%) и кембрийской глины — 30%) получен керамзитовый гравий,

легкий и тяжелый. Как видно из табл. 7, при температуре обжига 1280÷1300°, объемный вес керамзитового гравия колебался в пределах 600÷700 *кг/м*³; повышение температуры обжига до 1320÷1350° обеспечивает получение керамзита объемным весом 450÷550 *кг/м*³.

В первом случае образцы керамзита имели несколько недоразвитые поры; во втором — хорошо развитую мелкопористую структуру со слабым блеском. Хотя те и другие образцы керамзита обладают относительно большой прочностью, визуально отмечается значительная разница между ними по прочности. В обоих случаях получается тонкая спекшаяся прочная шероховатая оболочка-корка, плотно закрывающая внутреннюю пористую структуру керамзитового гравия.

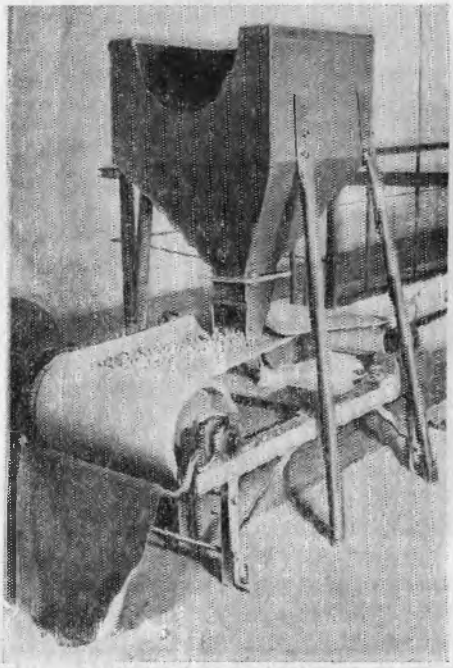


Рис. 19. Бункер-питатель вращающейся печи

При температуре обжига свыше 1360° вспученный материал начинает слипаться в конгломераты сфероидов. Такое явление было отмечено как при опудренных огнеупорным порошком сфероидах, так и при неопудренных. При температуре обжига ниже 1360° слипание не было отмечено.

Таким образом, полуфабрикат из подопытной шихты в опудривании огнеупорным порошком не нуждается. Влажность гранул, поступавших на обжиг, колебалась в пределах 7÷15%.

Обжиг полуфабриката, приготовленного из чистой кембрийской глины, как методом формовки цилиндриков на ленточном перегонном прессе, так и способом грануляции в барабане-грануляторе, не вызывает затруднений. При температуре обжига 1300÷1350° объемный вес керамзита колебался в пределах 400÷700 *кг/м*³.

Неокатанные цилиндрики из кембрийской глины в процессе вспучивания приняли форму сфероидов. Из кембрийской глины получается керамзит относительно более высокой прочности, чем из любой другой, до сих пор испытанной автором глины.

Таблица 7

Насыпной вес керамзита из ленинградских глин в зависимости от температуры обжига

Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³	Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³
1 360	375	1 300	600
1 350	450	1 290	650
1 340	500	1 270	700
1 320	550	1 250	950

Дробленая кембрийская глина в виде крошки и щебенки, обожженная при температурах 1300÷1350°, вспучилась весьма слабо, причем отмечалось вспучивание лишь центральных участков зерен.

Интересно отметить, что явление начала порообразования в глинистой массе относится к фракциям всех размеров как больших, так и малых. Объемный вес керамзитовой щебенки в куске оказался равным около 1 400 *кг/м*³. При рассмотрении отдельных зерен обнаружено расслаивание их на отдельные пластинки, которые в середине склеены участками вспученной массы. Это в основном и предохраняет конгломерат пластинок от расчленения на отдельные части. Повидимому, обжигом при более высоких температурах можно достигнуть как более полного вспучивания, так и монолитной связи пластинок из глинистого сырья. Подобного рода материал вполне пригоден в качестве заполнителя легких бетонов.

На рис. 20, 21, 22 и 23 показан керамзитовый гравий, полученный из ленинградских глин.

Обжиг керамзита из полуфабрикатов различных способов приготовления, форм и размеров из парсуковской глины также не сопровождался никакими затруднениями.

В зависимости от размера цилиндриков, сфероидов или крошки температура обжига устанавливалась на уровнях 1250—1300—1350°. В пределах этих температур происходит весьма интенсивное вспучивание парсуковской глины и обеспечивается получение продукта объемным весом в плотном теле 200÷1 000 *кг/м*³.

Опыт показал, что чем мельче полуфабрикат, тем ниже рабочая температура его вспучивания и, следовательно, тем быстрее должен протекать процесс предварительной тепловой обработки перед поступлением полуфабриката в зону максимальных температур печи. Излишне длительное пребывание полуфабриката в зоне тепловой подготовки перед вспучиванием приводит к ослаблению порообразующей способности глинистого сырья. Такое явление объясняется тем обстоятельством, что при

длительной выдержке глинистого сырья при температуре 700÷÷1000° из него удаляются составляющие, принимающие участие в процессах вспучивания. Естественно, что полезные для про-

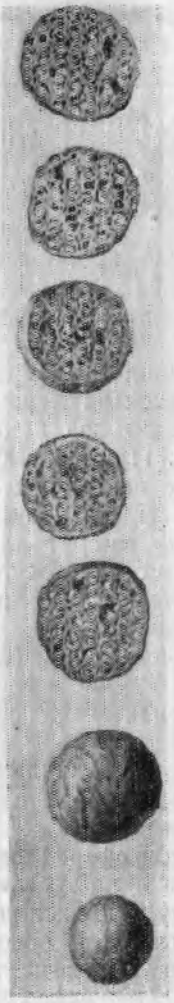


Рис. 20. Внешний вид зерен легкого керамзитового гравия, полученного из ленинградских глин

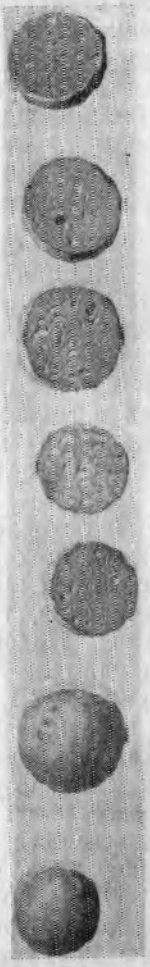


Рис. 21. Внешний вид зерен тяжелого керамзитового гравия полученного из ленинградских глин

цесса порообразования продукты скорее удаляются из более измельченного полуфабриката, чем из крупных фракций его.

Для парсуковской глины характерна присущая высококачественному сырью особенность в пределах широкого интервала

температур обжига не проявлять тенденции к слипанию зерен.

Другой важной особенностью этой глины является свойство интенсивно вспучиваться вне зависимости от формы и размера исходных зерен полуфабриката. Подвергнутые вспучиванию гранулы в виде сфероидов и цилиндриков, с влажностью 10÷15%, в процессе обжига приняли округлую форму гравия с тонкой, прочной и шероховатой наружной оболочкой.

Одних этих преимуществ парсуковской глины было бы достаточно, чтобы отнести ее к разряду наиболее ценного сырья для производства керамзита. Однако высокие качества подобной глинистой породы этим не исчерпываются. Экспериментальные работы показали, что из глин типа парсуковских можно получать керамзитовый гравий способом дробления подсушенного сырья до крошки размерами от 0 до 20 *мм* в поперечнике и последующего вспучивания зерен при температурах 1250÷1350°.

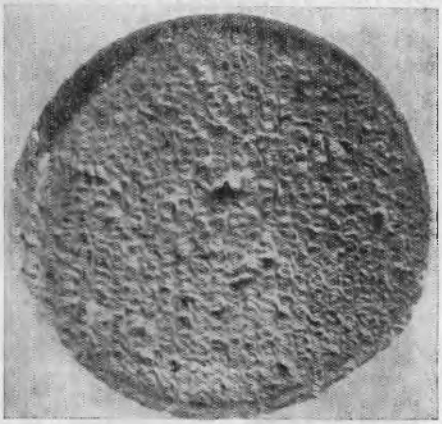


Рис. 22. Вид в разрезе зерна керамзитового гравия, полученного из ленинградских глин

Полученный таким образом керамзит имеет окатанную форму гравия и, что особенно важно, размеры фракций готового продукта находятся в пределах полной гаммы, требуемой при подборе состава бетона, т. е. от наиболее крупных до мельчайших — до керамзитового песка включительно.

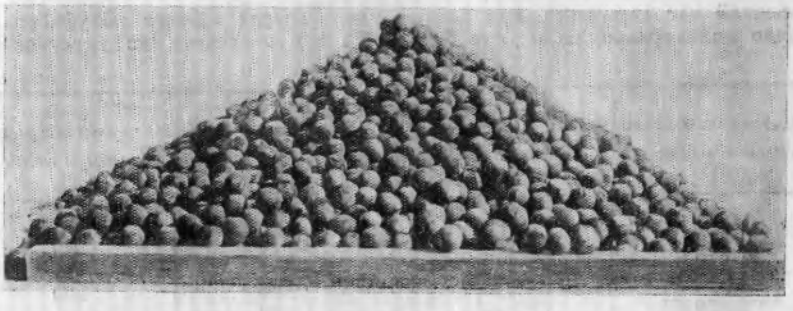


Рис. 23. Штабель керамзитового гравия, полученного из ленинградских глин

Этим способом впервые в практике легкобетонного строительства СССР был получен керамзитовый песок окатанной формы.

Принцип получения керамзита непосредственно из природных глинистых пород путем дробления их на фракции требуемых размеров с последующим вспучиванием крошки и мелочи как наиболее экономичный будет иметь большое значение в практике заводского производства легких заполнителей бетонов.

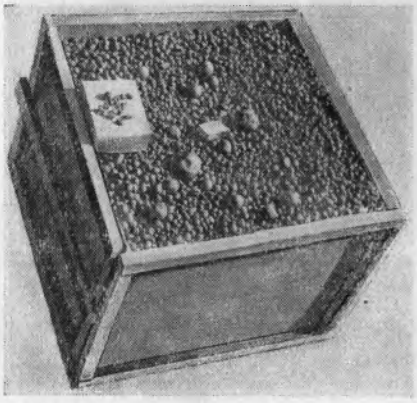


Рис. 24. Внешний вид керамзитового гравия, полученного из парсуковской глины; слева на плите показаны произвольной формы зерна исходного полуфабриката

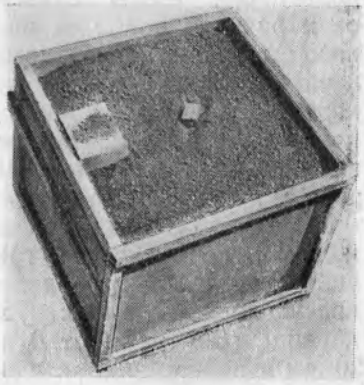


Рис. 25. Внешний вид керамзитового песка; слева на плите показана исходная крошка полуфабриката

В табл. 8, 9 и 10 приведены выборочные данные об условиях вспучивания парсуковской глины.

Таблица 8

Насыпной вес керамзита при разных температурах обжига полуфабриката в виде цилиндриков размерами 7 ÷ 16 *мм* в поперечнике из парсуковской глины

Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³	Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³
1 330	185	1 320	270
1 310	242	1 330	—
1 310	240	1 320	280
1 370	—	1 330	—
1 315	—	1 330	—
1 320	270	1 320	280

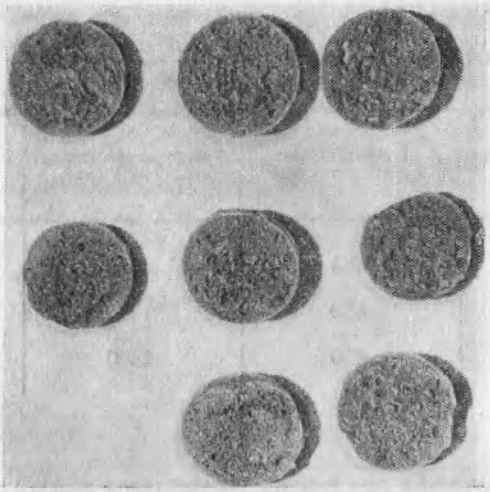


Рис. 26. Вид в разрезе зерен керамзитового гравия, полученного из парсуковской глины

На рис. 24, 25, 26 и 27 показаны керамзитовый гравий и керамзитовый песок из парсуковской глины.

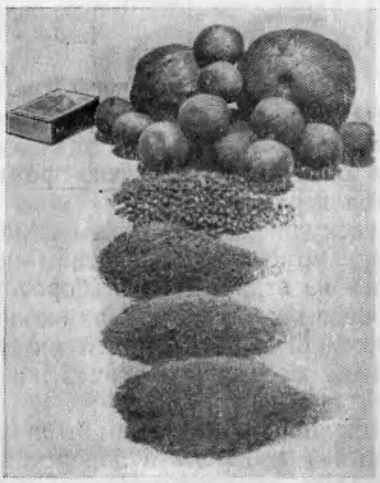


Рис. 27. Зерна керамзита, полученного из парсуковской глины: наименьший размер в поперечнике—0,15 *мм* и наибольший—80 *мм*

Таблица 9

Насыпной вес керамзита при разных температурах обжига полуфабриката в виде крошки размерами 1,2 ÷ 5 *мм* в поперечнике из парсуковской глины

Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³	Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³
1280	450	1330	500
1290	—	1330	—
1290	460	1330	450
1300	—	1330	—
1290	450	1330	450

Таблица 10

Насыпной вес керамзита при разных температурах обжига полуфабриката в в виде крошки размерами 0,6 ÷ 1,2 в поперечнике из парсуковской глины

Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³	Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³
1280	550	1280	620
1295	—	1275	—
1280	560	1295	—
1250	620	1290	540
1275	—	1290	550

Опытные работы по получению керамзитового гравия из бескудниковской глины получили важное значение в связи с решением о постройке в Бескудникове опытно-промышленной установки для производства керамзита.

Известно, что бескудниковские глины относятся к разряду суглинков с относительно слабым свойством вспучиваться. Автору удалось получить из этих глин в лабораторных условиях керамзит объемным весом в плотном теле около единицы. Вполне естественным поэтому был повышенный интерес к результатам обжига керамзита из бескудниковских глин во вращающейся печи.

Гранулы из бескудниковской глины были приготовлены в виде сфероидов размерами 7 и 16 *мм* в поперечнике.

Первое опробование на вспучивание полуфабриката влажностью в 15% не привело к желательным результатам. Полуфабрикат в печи растрескивался и почти не вспучивался. Повышение температуры до 1450° не дало положительного эффекта. В зоне максимальных температур полуфабрикат слипался и

попрежнему вспучивался слабо. Было решено прервать опыты и подсушить сфероиды до влажности 7÷10%.

Произведенный на следующий день опытный обжиг дал вполне удовлетворительные результаты. Гранулы подсушенного полуфабриката ровно и хорошо вспучивались. Оптимальная температура обжига была установлена на уровне 1400÷1420°.

При этих условиях насыпной вес керамзитового гравия изменялся в пределах 600÷650 *кг/м*³, что в переводе на объемный вес материала в плотном теле составляет 900÷1 050 *кг/м*³.

В табл. 11 приведены данные, характеризующие обжиг, а на рис. 28 показан вид керамзита из бескудниковских глин.

Таблица 11

Насыпной вес керамзита при разных температурах обжига полуфабриката в виде сфероидов размерами 7—16 *мм* в поперечнике из бескудниковской глины

Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³	Температура факела горения в град.	Насыпной вес керамзита в *кг/м*³
1375	—	1420	—
1400	650	1410	—
1400	—	1420	650
1410	640	1380	—
1420	—	1420	650
1400	—	1425	620
1420	600	1410	—
1420	—	1430	—
1405	—	1415	—
1430	—	1410	650
1420	—	1400	—
1400	640	1400	650

Более высокая температура обжига бескудниковской глины объясняется ее составом и прежде всего относительно большим содержанием песка, малым содержанием окислов железа, а также щелочных и щелочно-земельных компонентов.

Хотя процесс вспучивания бескудниковской глины во вращающейся печи не вызывал затруднений, все же следует отметить, что температура ее обжига граничит с максимальной температурой факела горения, при которой происходит слипание и спаривание сфероидов. Таким образом, обжиг керамзитового гравия из бескудниковской глины во вращающейся печи, как и большинства однотипных ей суглинков, возможен при хорошо отрегулированном процессе, особенно при равномерном питании форсунки горючим и воздухом.

Надежный контроль за процессом обжига осуществляется путем замера температуры оптическим пирометром. Действен-

ным методом контроля за нормальным ходом процесса вспучивания в печи является также непосредственное наблюдение обжигальщика за состоянием полуфабриката в зоне максимальных температур. Оптимальным условием хорошо протекающего процесса вспучивания является состояние полуфабриката, при котором последний, увлекаемый центробежной силой вращения

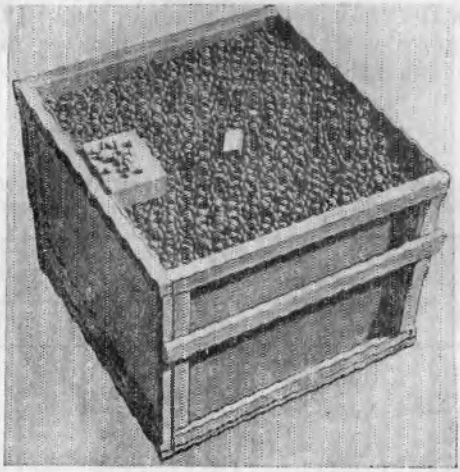


Рис. 28. Внешний вид керамзитового гравия, полученного из бескудниковской глины; слева на плите показаны зерна исходного полуфабриката

печи, как будто в слипшемся состоянии, падает, рассыпаясь на отдельные гранулы.

Опытные обжигальщики по характерной «вялости» передвижения, подъема и падения гранул керамзита в печи могут регулировать оптимальную температуру обжига в пределах 5÷10°.

Весьма удовлетворительные результаты вспучивания получены при обжиге гранул полуфабриката из подмосковной озерно-болотной глины Лианозовского месторождения.

В табл. 12 приведены выборочные данные по составу отходящих газов из вращающейся печи в процессе опытных обжигов.

Помимо указанных опытных работ, через вращающуюся печь были пропущены в небольших количествах гранулы, приготовленные из нескольких глин Подмосковья, используемых для производства красного кирпича.

Среди этих глин наибольший интерес представляет красная глина Буньковского кирпичного завода близ г. Ногинска. По

Таблица 12

Выборочные данные по составу в % отходящих газов из вращающейся печи в процессе обжига керамзита

Температура отходящих газов в град.	CO_2	$CO_2 + O_2$	O_2	CO
480	12,5	13,0	0,5	2,8
520	12,0	13,0	1,0	2,4
480	14,0	14,4	0,4	2,8
540	8,6	15,0	6,4	0,8

характеру вспучивания она приближается к высококачественным парсуковским глинам. Вместе с тем, качество готового продукта из буньковской глины значительно выше качества керамзита из парсуковского сырья.

Как было сказано, температуру в печи определяли радиационным пирометром, в телескоп которого вставлен термоэлемент, воспринимающий цвет раскаленного тела. Субъективность этого метода определения температуры и возможность допущения ошибки при наведении решетки термоэлемента на раскаленные газы не вызывают сомнений. Однако замеры, проводимые через 10÷15 мин. одним и тем же наблюдателем, позволяют судить с определенной степенью точности о действительной температуре факела горения в непосредственной близости от форсунки.

На основании замеров температуры в зоне, ближайшей к выгрузочному отверстию печи, и учитывая, что температура отходящих газов, определяемая термопарой, равняется в среднем 450°, автор построил кривую изменения температуры газов вдоль оси вращения печи (рис. 29, кривая *I*). Понижение температуры газов происходит медленно, затем постепенно ускоряется, и температура достигает минимума в ближайших к загрузочному отверстию областях.

Другую картину представляет собой кривая нагревания материала (рис. 29, кривая *III*). При поступлении сырого полуфабриката в печь и соприкосновении его с уже охлажденными в значительной степени газами температура материала будет медленно повышаться.

После достижения полуфабрикатом температуры порядка 700÷900°, когда закончатся испарение влаги и реакции, связанные с поглощением тепла, начинается быстрое повышение температуры полуфабриката до максимальной в области сжигания топлива.

Кривая *II*, характеризующая температуру футеровки печи, изображена на том же рис. 29. В месте загрузки температура футеровки будет несколько выше температуры полуфабриката, но значительно ниже температуры газов. По мере удаления от

места загрузки температура футеровки повышается. Температура футеровки по абсолютной величине будет ниже температуры газов, но выше температуры обжигаемого полуфабриката.

На основе анализа термической обработки полуфабрикатов в коротких вращающихся печах и наблюдений за процессом обжига автор пришел к выводу о наличии условий, характеризующихся значительным температурным перепадом между зоной предварительной тепловой обработки полуфабриката и зоной, в которой происходит его вспучивание, приближающихся к прин-

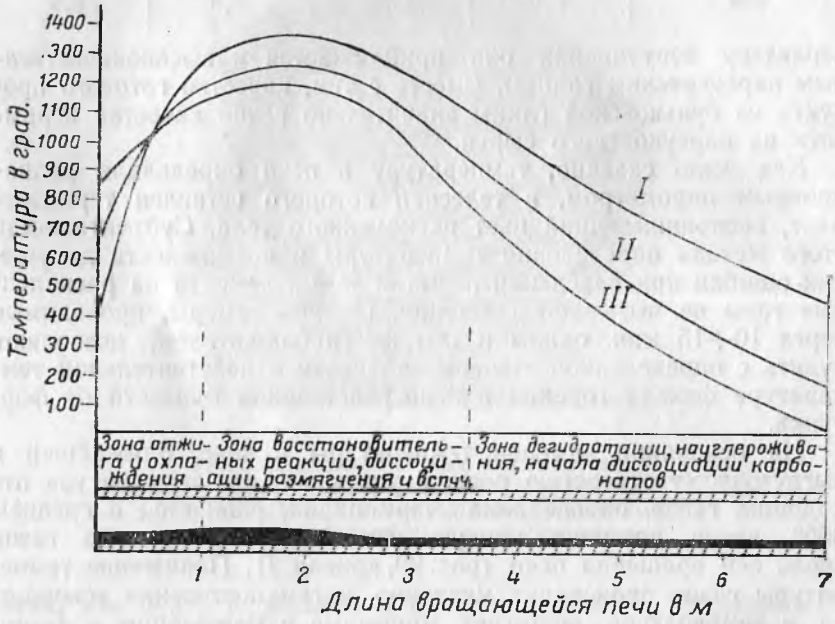


Рис. 29. Кривые температур:

I — горячих газов; *II* — футеровки; *III* — полуфабриката и распределение последнего вдоль оси вращения трубчатой печи с разграничением по зонам в процессе обжига керамзита

ципиальной схеме обжига керамзита (рис. 7). Более того, характер термической обработки в необходимых для практики соотношениях можно регулировать следующими параметрами: скоростью прохождения полуфабриката через зоны предварительной подготовки и вспучивания, длиной, мощностью (объемной величиной), температурой и направлением факела горения топлива во вращающейся печи и пр. В этом отношении важное значение приобретает следующий произведенный автором опыт. В процессе обжига было увеличено число оборотов печи, в связи с чем скорость прохождения полуфабриката увеличилась, а время пребывания его в печи сократилось с 40 до 25 мин. При

этом произошло резкое улучшение условий вспучивания гранул полуфабриката в зоне максимальных температур. По характерной окраске можно было хорошо наблюдать явственное приближение зоны предварительной подготовки полуфабриката непосредственно к зоне высоких температур. Вместо наблюдавшегося ранее относительно медленного увеличения (вспучивания) — гранулы полуфабриката теперь увеличились в объеме за более короткий промежуток времени, причем абсолютный объем гранул был больше, чем после обжига в течение более длительного времени — 40 мин. Тот же результат достигается при повышении температуры футеровки в ограниченной части длины печи, а именно — в зоне максимальных температур.

Становится очевидным, что при постоянстве других параметров обжига изменения, вызываемые увеличением скорости продвижения полуфабриката вдоль оси вращения печи или сосредоточенным разогревом футеровки в части печи, ограниченной зоной максимальных температур, сказываются на изменении перепада между температурой в зоне предварительной подготовки и температурой в зоне вспучивания, в результате чего эффективность порообразования приближается к своему максимуму.

Определение объемного веса керамзитового гравия, взятого непосредственно из печи через смотровое окно, показало изменение веса в сторону уменьшения с 650 до 540 *кг/м*^{3}.

Таким образом, сокращение времени обжига керамзита во вращающихся печах является не только экономическим, но и важным технологическим фактором, улучшающим и облегчающим физико-химические условия вспучивания.

Передвижение зоны максимальных и средних температур во вращающейся печи непосредственно к зоне большого огня, изменение накала футеровки и приближение к большому огню «непросматриваемой черной зоны» хорошо наблюдаются через смотровые окна печи. На рис. 30 наглядно иллюстрируются указанные выше изменения в кривой термической обработки.

В практике производства керамзита оптимальный характер кривых термической обработки устанавливают опытным путем. При этом учитывают как наиболее приемлемые технологические решения, так и их технико-экономические результаты. При этом выгодные соотношения определяют эксплуатационный режим обжига.

Опытами не была установлена зависимость между качеством получаемого керамзитового гравия и влажностью исходного полуфабриката. Гранулы всех размеров — от 7 до 30 *мм* в поперечнике — с влажностью от 4 до 15% одинаково хорошо вспучились. Исключение отмечено лишь для бескудниковской глины, оптимальная влажность которой перед вспучиванием находится в пределах 7÷10%.

Хорошие показатели, удовлетворяющие поставленной задаче — получению опытных партий керамзитового гравия различного объемного веса из одной и той же исходной производственной шихты, со всей убедительностью показали полную возможность получения при заводском производстве керамзита, обладающего заданными физико-механическими свойствами.

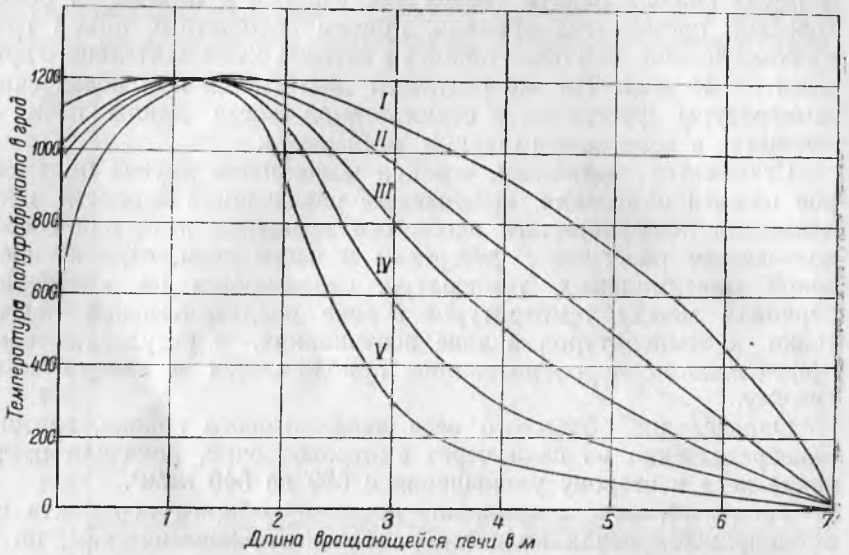


Рис. 30. Кривые изменения температуры полуфабриката в процессе обжига керамзита во вращающейся печи в зависимости от продолжительности термической обработки:

I — значительно больше 60 мин.; *II* — больше 60 мин.; *III* — 45 мин.; *IV* — около 30 мин.; *V* — меньше 25 мин.

4. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМЗИТА И КЕРАМЗИТОБЕТОНА

За последние два десятилетия выполнено значительное количество экспериментальных работ, посвященных выявлению и изучению свойств керамзита и керамзитобетона. Однако большинство этих исследований выполнено на недостаточно качественном керамзите. Исходным объектом изучения обычно служил заполнитель, получившийся путем дробления крупных глыб керамзита, обожженного в укрупненных лабораторных печах. Такая щебенка имела неоднородные структуру, плотность и объемный вес. Поскольку зерна керамзитового щебня обладают высокоразвитой поверхностью и открытыми порами, доступными для проникания воды в глубь материала, подобный заполнитель отличается значительной влагоемкостью и вызывает повышенные расходы вяжущего при изготовлении легкобетонных изделий.

Основным достоинством керамзита, полученного во вращающейся печи, является кондиционный характер его качества. В результате обжига гранулированного глинистого сырья обеспечивается получение керамзитового гравия с тонкой, плотной, прочной и шероховатой сболочкой, закрывающей пористую структуру внутренней части зерен заполнителя. Это делает его значительно более прочным и менее влагоемким по сравнению с керамзитовым щебнем того же объемного веса и оказывает

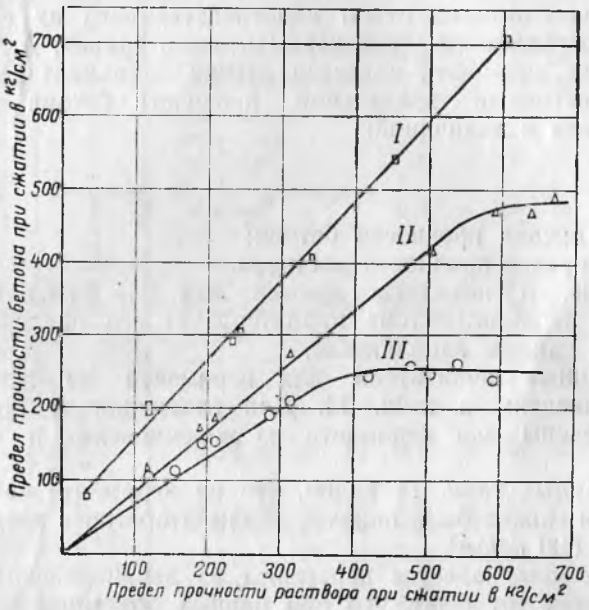


Рис. 31. Кривые, характеризующие предел прочности бетона в зависимости от прочности заполнителя (по А. И. Ваганову)

I — гранитный щебень; *II* — керамзитовый гравий объемным весом 1,4 *т/м*³; *III* — то же, объемным весом 0,86 *т/м*³

существенное влияние на снижение расхода цемента при изготовлении изделий.

Исследования свойств опытных партий керамзита и керамзитобетона на его основе были проведены под руководством действ. чл. Академии архитектуры СССР проф. Н. А. Попова автором и аспирантом А. А. Евдокимовым при участии М. П. Элинзона [1].

[1] В экспериментальной части работ принимали участие сотрудники Научно-исследовательского института строительной техники Н. А. Диканова, В. П. Филиппова и Н. Н. Розова.

Исследования керамзита из ленинградских глин и керамзитобетона на его основе были выполнены А. И. Вагановым в Центральном научно-исследовательском институте речного флота, ставившим своей задачей получение высокопрочного керамзитобетона специального назначения.

В табл. 13 приведены некоторые данные, характеризующие керамзитовый гравий, полученный из парсуковской, бескудниковской, ногинской и ленинградских глин.

Ввиду сложности получения механических характеристик легких заполнителей путем непосредственного их определения, например, прочности зерен керамзитового гравия, А. И. Ваганов предложил оценивать качество легких заполнителей в бетоне характеристиками предельной прочности бетона на данном заполнителе и величиной:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R}{R_р},$$

где R — предел прочности бетона;

$R_р$ — предел прочности раствора.

На рис. 31 показаны кривые для $R = f(R_р)$. Излом кривых для керамзитобетона характеризует его предельную прочность на данном заполнителе.

Указанные показатели для керамзита из ленинградских глин приведены в табл. 14. Для сравнения те же показатели приведены для керамзита из воронцовских и харьковских глин.

Из данных табл. 14 видно, что на керамзите из ленинградских глин может быть получен керамзитобетон с пределом прочности до 500 *кг/см*^{2}.

О высоком качестве керамзита из ленинградских глин свидетельствует тот факт, что при равных объемных весах керамзита из ленинградских глин (860 *кг/м*^{3}) и харьковских (900 *кг/м*^{3}) предельная прочность керамзитобетона на первом керамзите выше, чем на втором, на 55%.

На керамзите из воронцовской глины предельная прочность бетона 380 *кг/см*^{2} была получена при объемном весе керамзита в плотном теле — 1 500 *кг/м*^{3}, тогда как такая же прочность на керамзите из ленинградских глин достигается при объемном весе в плотном теле — 1 040 *кг/м*^{3}.

Соотношение между расходом цемента, объемным весом и пределом прочности керамзитобетона на керамзите из ленинградских глин по данным А. И. Ваганова характеризуется данными табл. 15.

Приведенные данные получены при использовании в качестве мелких фракций дробленого керамзита, что вызвало повышенный расход цемента. Замена мелкого щебня и песка, получаемых путем дробления крупных кусков керамзита, керамзитовым песком с уплотненной поверхностной коркой приводит к

Таблица 13

Характеристика керамзита

Наименование партии керамзитового гравия по исходному сырью	Размер фракций в *мм*	Объемный вес в *кг/м*³		Пустотность в %	Водопоглощение в % по весу через								
		в россыпи	в плотном теле		2 мин.	5 мин.	15 мин.	30 мин.	1 час.	2 часа	48 час.	1 мес.	3 мес.
Парсуковский	20÷40	200	340	48	5,1	5,8	6,9	7,8	8,5	9,3	15,8	16,3	23,8
То же	10÷20	290	400	45	4,1	5,4	5,8	6,2	6,2	7,5	9,5	11,2	17,0
„	5÷10	400	700	39	3,5	3,5	3,7	3,8	4,1	4,3	6,7	8,8	9,8
„	2,5÷5,0	500	850	35	3,1	3,8	4,2	5,5	5,5	5,8	6,7	8,7	9,5
Парсуковский керамзитовый песок	1,2÷2,5	600	1 050	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
То же	0,6÷1,2	650	1 100	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Рескудниковский	10÷20	560	1 000	47	2,3	2,8	3,3	3,3	3,3	3,3	4,6	6,5	11,1
Буньковский	20÷40	490	870	46	2,1	2,1	2,4	2,5	2,5	3,0	4,2	5,0	6,2
Ленинградский из кембрийской глины	20÷40	570	1 000	48	2,2	2,4	2,7	2,9	2,9	3,2	5,8	7,2	8,5
Ленинградский смешанный легкий	8÷15	430	850	42	3,0	3,2	3,9	4,1	4,6	4,6	6,4	7,6	11,3
Ленинградский смешанный средний	8÷15	620	1 070	42	2,6	3,1	3,6	3,8	3,8	4,6	7,6	9,5	—
Ленинградский смешанный тяжелый	8÷15	800	1 400	42	2,7	3,3	3,8	4,7	4,7	5,4	8,1	10,1	—
Щебенка из легкого керамзита	8÷15	420	800	46	6,6	6,6	7,1	8,9	11,0	12,1	13,3	15,0	—
Щебенка из тяжелого керамзита	8÷15	700	1 300	46	5,1	5,1	5,8	6,5	6,5	8,7	16,8	22,0	—

Таблица 14

Характеристика керамзитового гравия и бетона

Наименование керамзитового гравия по исходному сырью	Объемный вес в плотном теле в *кг/м*³	Предельная прочность бетона в *кг/см*²	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{R}{R_p}$
Ленинградский	860	250	0,67
»	1 040	350	0,75
»	1 400	500	0,86
Воронцовский	1 500	380	0,83
Харьковский	900	160	0,55
»	600	100	—

Таблица 15

Ориентировочный расход цемента для бетона различных марок на керамзите из ленинградских глин. Консистенция пластичная — осадка стандартного конуса 6÷7 *см*. Активность цемента 350 *кг/см*²

Объемный вес в плотном теле в *кг/м*³ / Марка бетона	650		860		1 400	
	расход цемента в *кг/м*³	объемный вес керамзитобетона в *кг/м*³	расход цемента в *кг/м*³	объемный вес керамзитобетона в *кг/м*³	расход цемента в *кг/м*³	объемный вес керамзитобетона в *кг/м*³
110	290	1 300	275	1 400	260	1 600
150	350	1 300	300	1 400	300	1 600
200	—	—	380	1 400	350	1 600
250	—	—	430	1 400	400	1 600
300	—	—	—	—	430	1 600
400	—	—	—	—	550	1 600
500	—	—	—	—	650	1 600

снижению расхода цемента и уменьшению объемного веса керамзитобетона.

Научно-исследовательский институт строительной техники Академии архитектуры СССР стремился получить керамзитобетон, пригодный для использования в жилищно-гражданском строительстве, в несущих и ограждающих конструкциях, в первую очередь — для изготовления крупных блоков, панелей стен и перекрытий.

Такой керамзитобетон должен обладать минимальным объемным весом и пределом прочности при сжатии от 25 до 200 *кг/см*².

По данным прежних исследований известно, что керамзитобетон марки 25, изготовленный на керамзитовом щебне, имел наименьший объемный вес 1 150 *кг/м*³. Объемный вес керамзитобетона средних марок 150÷200 достигал 1 750 *кг/м*³ и выше.

Рис. 32. Штабеля керамзитового гравия с размерами зерен от 2,5 до 30 *мм* в поперечнике

Естественно, что такие показатели значительно снижали интерес строителей к керамзитобетону, который в сущности мало отличался от шлакобетона. Преимущества керамзитобетона перед легкими бетонами на других пористых заполнителях во многих отношениях оставались не вполне раскрытыми.

При подборе составов керамзитобетона для несущих и ограждающих конструкций применяли цемент марки 400. Расход цемента колебался в пределах 125÷300 *кг* на 1 $м^3$ бетона, а для выборочных композиций при получении повышенных марок керамзитобетона (320 $кг/см^2$ при объемном весе 1 650 $кг/м^3$) расход цемента доходил до 420 $кг/м^3$. Величина крупного заполнителя не превышала 20 *мм*. В качестве мелких фракций заполнителя впервые был использован керамзитовый песок окатанной формы с прочной наружной оболочкой. Частично мелкие фракции заполнителя получали дроблением более крупных.

На рис. 32, 33, 34, 35 и 36 показаны образцы керамзита, использованного для исследований.

Оптимальное количество воды на замес определяли по наименьшему выходу бетона. Из каждого замеса формовали по три образца размерами 10×10×10 *см*. Формовку образцов производили на виброплощадке в течение 1,5 мин. После двухсуточного хранения образцов в формах их пропаривали 12 час. без давления при температуре 70÷80° и на четвертые сутки испытывали на сжатие.

Одни составы керамзитобетона подбирали по кривой проф. Н. А. Попова; при этом количество мелких фракций заполнителя определяли, исходя из объема пустот в последующих крупных фракциях, и добавляли некоторый избыток мелкой фракции, необходимой для придания бетону надлежащей удобообрабатываемости. Другие составы керамзитобетона подбирали точно по

Рис. 33. Штабеля керамзитового гравия, рассортированного на фракции размерами: 10÷20; 5÷10; 2,5÷5; 1,2÷2,5 и 0,6÷1,2 *мм* в поперечнике

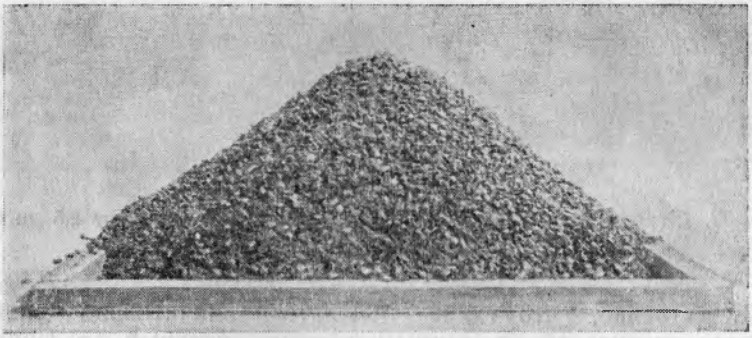


Рис. 34. Штабель дробленого керамзита

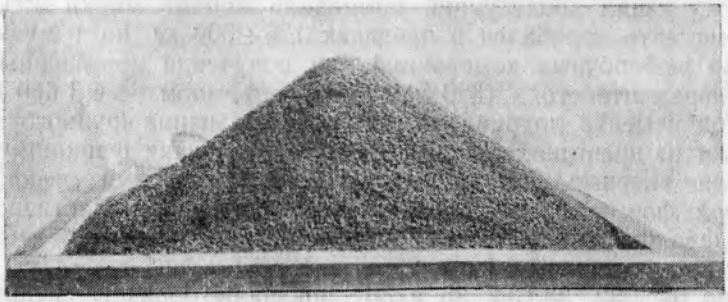


Рис. 35. Штабель керамзитового песка размерами зерен 0,6÷1,2 *мм* в поперечнике

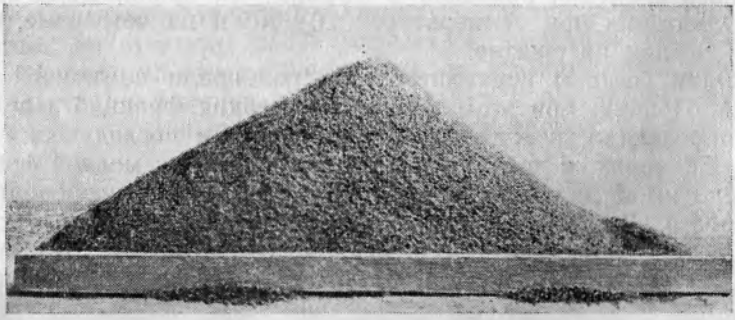


Рис. 36. Штабель керамзитового песка размерами зерен 0,3÷0,6 *мм* в поперечнике

кривой Н. А. Попова или с исключением части некоторых мелких фракций.

В первой серии опытов исследованию были подвергнуты бетоны, зерновой состав крупных заполнителей которых приближался к составу, определяемому указанной кривой, а растворная часть была изготовлена на отдельно взятых мелких фракциях заполнителей размерами 0,15÷0,3; 0,3÷0,6; 0,6÷÷1,2 *мм*.

Во второй серии опытов были исследованы бетоны, растворная часть которых была приготовлена на отдельно взятой фракции размерами 0,3÷0,6 *мм* с количеством этой фракции от 40 до 68% от веса крупного заполнителя.

В третьей серии опытов были исследованы составы керамзитобетона с заполнителем, подобранным по кривой Н. А. Попова, и с заполнителем, подобранным по той же кривой, но с увеличенным содержанием фракции размерами 0,3÷÷0,6 *мм*.

В четвертой серии опытов было исследовано влияние кварцевого песка на прочность керамзитобетонов.

В пятой серии опытов были подвергнуты исследованию составы керамзитобетона для ограждающих конструкций, зерновой состав которых был подобран по кривой проф. Н. А. Попова и по кривой того же характера, но без следующих отдельно взятых фракций 0÷0,6; 0÷2,5 *мм*.

На рис. 37, 38 и 39 показаны кривые зернового состава заполнителей, примененных для первой, второй и пятой серий опытов. Одновременно были исследованы свойства шлакобетона, приготовленного на известном своими высокими качествами каширском шлаке.

Условия приготовления образцов шлакобетона примерно совпадали с условиями приготовления керамзитобетона. В связи с этим оказалось возможным сравнить основные строительные свойства легких бетонов на керамзитовом гравии и на одном из лучших шлаков.

На рис. 40 основные строительные свойства керамзитобетона выражены в форме кривых взаимозависимости: объемный вес—предел прочности при сжатии. Там же для сравнения нанесены показатели объемного веса и предела прочности при сжатии для шлакобетона.

На рис. 41 приведена кривая, характеризующая взаимозависимость между расходом цемента и пределом прочности при сжатии керамзитобетона.

Лучшие показатели плотности и прочности имеет керамзитобетон, подобранный по кривой проф. Н. А. Попова, с повышенным содержанием фракции размерами 0,3÷0,6 *мм*.

Из кривых на рис. 40 видно, что керамзитобетон для несущих конструкций с пределом прочности при сжатии до 150 *кг/см*^{2} следует готовить на смешанных заполнителях: керам-

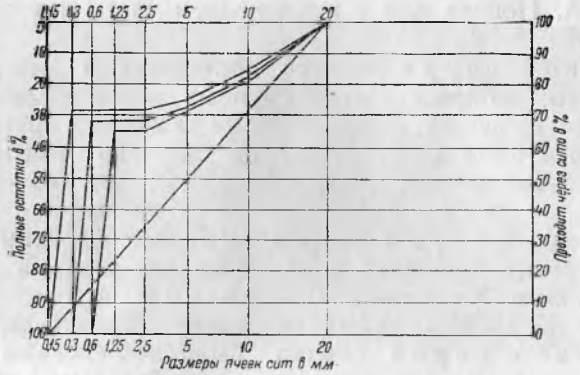


Рис. 37. Кривые зернового состава керамзита для первой серии опытов

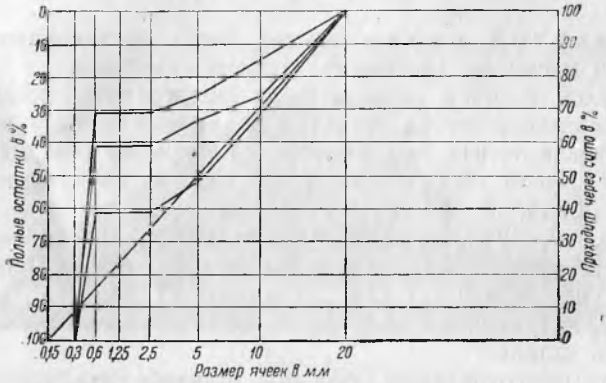


Рис. 38. Кривые зернового состава керамзита для второй серии опытов

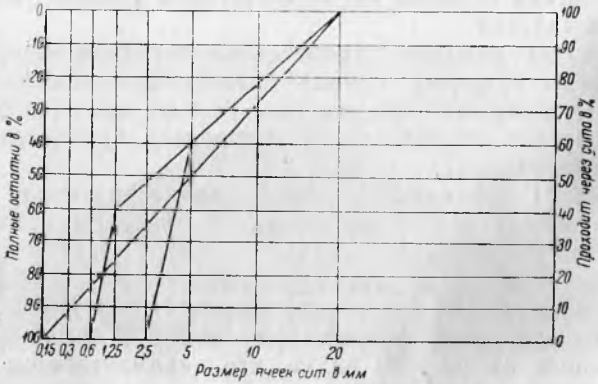


Рис. 39. Кривые зернового состава керамзита для пятой серии опытов

зитовом гравии, керамзитовом и кварцевом песке, а высокопрочный керамзитобетон — только на керамзитовом гравии и кварцевом песке.

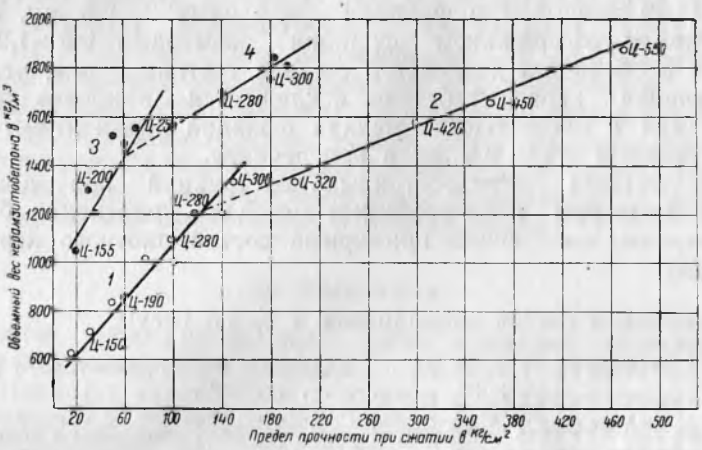


Рис. 40. Кривые зависимости между объемным весом и пределом прочности при сжатии керамзитобетона и шлакобетона

1 — керамзитобетон на керамзите и керамзитовом песке из парсуковской глины, объемный вес керамзита в россыпи—250 ÷ 500 *кг/м*³; *2* — керамзитобетон на керамзите из бескудниковской и ленинградских глин и кварцевом песке, объемный вес керамзита в россыпи—550 ÷ 800 *кг/м*³; *3* и *4* — шлакобетон на каширском шлаке и кварцевом песке; цифрой при знаке *Ц* указан расход цемента в *кг* на 1 *м*³ бетона

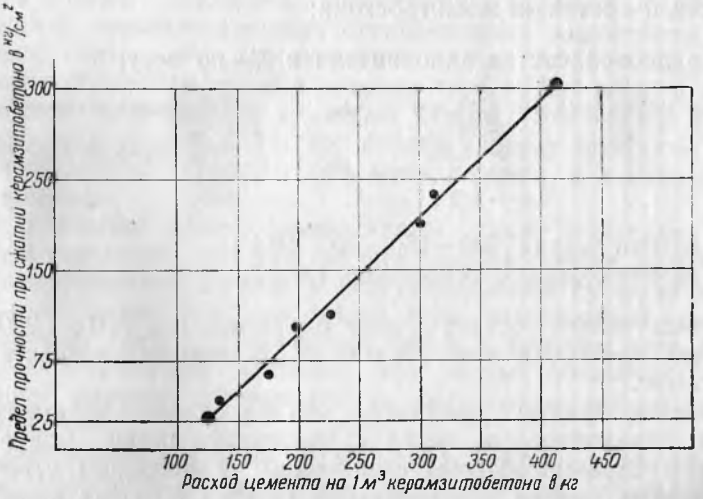


Рис. 41. Зависимость между расходом цемента и пределом прочности при сжатии керамзитобетона

Для ограждающих конструкций и изделий лучшие показатели — наименьший объемный вес при достаточной прочности — имеют керамзитобетон, зерновой состав которого подобран по кривой проф. Н. А. Попова, и керамзитобетоны, подобранные по этой же кривой, без фракции размерами 0÷0,6 *мм*, но с увеличенным содержанием фракции размерами 0,6÷1,2 *мм*. Важная особенность последнего состава состоит в том, что при изготовлении керамзитобетона исключается наиболее трудно получаемая в производстве мелкая фракция керамзитового песка размерами 0,15÷0,6 *мм* в поперечнике.

Для несущих железобетонных конструкций при обычной густоте арматуры и современных методах уплотнения бетона рекомендован следующий примерный состав плотного керамзитобетона:

а) зерновой состав заполнителя в % по весу:

фракция размерами	10 ÷ 20 *мм*	20%	керамзитового гравия
„ „	5 ÷ 10 „	10%	„ „
„ „	2,5 ÷ 5 „	5%	„ „
„ „	0,15 ÷ 2,5 „	65%	кварцевого песка

б) цемент марки 400—250÷320 *кг/м*³;

в) цементноводное отношение 1,5÷2,0.

Бетоны такого состава имеют объемный вес 1 200÷÷1 400 *кг/м*³ и предел прочности при сжатии в 28-дневном возрасте 110÷180 *кг/см*².

Для ограждающих конструкций рекомендуется следующий примерный состав керамзитобетона:

а) зерновой состав заполнителя в % по весу:

фракция размерами	10 — 20 *мм*	25%	керамзитового гравия
„ „	5 ÷ 10 „	15%	„ „
„ „	2,5 ÷ 5,0 „	10%	керамзитового песка
„ „	1,2 ÷ 2,5 „	10%	„ „
„ „	0,6 ÷ 1,2 „	40%	„ „

б) цемент марки 400—150÷200 *кг/м*³;

в) цементноводное отношение 1,6÷2,2.

Бетоны такого состава имеют объемный вес 700÷1 000 *кг/м*³ и предел прочности при сжатии в 28-дневном возрасте 30÷÷70 *кг/см*².

Опытные данные показали, что на основе керамзитового гравия, керамзитового песка и кварцевого песка могут быть получены керамзитобетоны с широким диапазоном строительных свойств, предел прочности при сжатии которых колеблется от 25 до 500 *кг/см*², а объемный вес составляет соответственно 600÷1 800 *кг/м*³.

Очевидные преимущества керамзитобетона перед легкими бетонами на других пористых заполнителях наглядно иллюстрируются следующими данными экспериментальных работ: при прочих равных условиях (предел прочности при сжатии, расход цемента) керамзитобетон для несущих конструкций имеет на 30÷50%, а для ограждающих — в полтора-два раза меньший объемный вес по сравнению с шлакобетоном.

Повидимому, столь высоких показателей физико-механических свойств керамзитобетона можно достигнуть лишь применяя керамзит, зерна которого имеют прочную уплотненную шероховатую оболочку, закрывающую поры заполнителя, и керамзитовый песок, что имело место в опытах автора.

5. ВЫВОДЫ

Данные экспериментальных работ и анализ исследований приводят к следующим выводам.

1. Наиболее характерные и широко распространенные глины Подмосковья и окрестностей г. Ленинграда являются сырьем, вполне пригодным для организации на его основе производства керамзитового гравия.

2. Опытными работами подтвердилось высказанное ранее положение, что все легкоплавкие глинистые породы при температурах размягчения обладают склонностью к вспучиванию, а интенсивность вспучивания в основном зависит от содержания в глинах окислов железа и наличия восстановителей.

3. По свойству вспучиваться среди исследованных глин выделяется своими высокими качествами железистая, обильно насыщенная тонкодисперсными органическими веществами, парсуковская глина. Из парсуковской глины легко получается керамзит с объемным весом в плотном теле от 200 *кг/м*³ и выше.

Свойство вспучиваться в слабой степени отмечается у бескудниковского суглинка. На его основе удалось получить прочный керамзитовый гравий с объемным весом в плотном теле около единицы.

Все остальные исследованные глины также обладают свойством вспучиваться, занимая среднее промежуточное положение между парсуковской глиной и бескудниковским суглинком.

На базе озерно-болотной глины типа лианозовской получен керамзитовый гравий с объемным весом в плотном теле 600÷÷700 *кг/м*³, прочность которого при равных объемных весах превышает прочность керамзита из высококачественной парсуковской глины.

Из ленинградских глин может быть получен керамзитовый гравий, обладающий высокими прочностными показателями с объемным весом в россыпи от 400 до 800 *кг/м*³.

4. В заводских условиях производства объемный вес керамзитового гравия и его прочность можно регулировать в широ-

ких пределах температурой обжига исходного полуфабриката и характером газовой атмосферы.

5. В зависимости от состава глин, свойства их в той или иной степени вспучиваться и требований к физико-механическим свойствам готового продукта может быть установлена опытным путем температура обжига и время пребывания полуфабриката в зоне максимальных температур. Температура обжига регулируется системой подачи в печь горючего и воздуха через форсунку, установленную у выгрузочного отверстия вращающейся печи, а время пребывания полуфабриката в печи или скорость обжига регулируются числом оборотов печи и углом ее наклона. Длительность полного цикла обжига колеблется от 25 до 45 мин.

6. Для обеспечения надлежащего эффекта вспучивания глинистого полуфабриката необходима его двухступенчатая термическая обработка: предварительная обработка при температуре 300÷700° и обжиг при температурах вспучивания.

7. Самопроизвольное распределение температур нагрева газов и футеровки вдоль оси вращения короткой трубчатой печи обеспечивает надлежащий перепад температуры между зоной предварительной тепловой обработки глинистого полуфабриката в начальной стадии и зоной вспучивания. Практически условия обжига во вращающейся печи приближаются к принципиальной двухступенчатой схеме термической обработки, в связи с чем отпадает надобность в создании специальных устройств для принудительного регулирования перепада температур, как это ранее предусматривалось проектами.

8. Возможная и достижимая при данных условиях длина зоны максимальных температур, при которых происходит вспучивание полуфабриката, в решающей степени определяет возможную производительность вращающейся печи. Поэтому предпочтительней проектировать такую систему топочных устройств, которая обеспечивает максимальную длину факела горения.

9. Опудривание сфероидов порошком огнеупорной глины за исключением, повидимому, полуфабриката из глин типа бескудниковских, не является обязательным. Как показал опыт, слипание сфероидов в зоне максимальных температур до 1350° не отмечалось. При температурах свыше 1360° наблюдалось слипание как опудренных, так и не опудренных сфероидов. Следовательно, слой огнеупорного порошка после достижения некоторой критической температуры не предохраняет материал от слипания и сваривания.

10. Анализ отходящих продуктов горения показывает, что керамзитовый гравий можно обжигать в слабо восстановительной среде. Следует отметить при этом, что количество окиси углерода в такой среде недостаточно для обеспечения интенсивного насыщения глинистого полуфабриката сажистым углеродом.

Повидимому, восстановление окислов железа происходит главным образом за счет содержащихся в природной глине органических веществ и газообразных восстановителей среды.

11. Заслуживают дальнейшего развития работы по рационализации способов приготовления полуфабриката. Из проведенных опытов по грануляции порошка глин в зерна различных размеров на грануляторе вытекает, что полуфабрикат может быть успешно приготовлен также «сухим способом». Для изготовления гранул, кроме «сухого» и «пластического» способов,

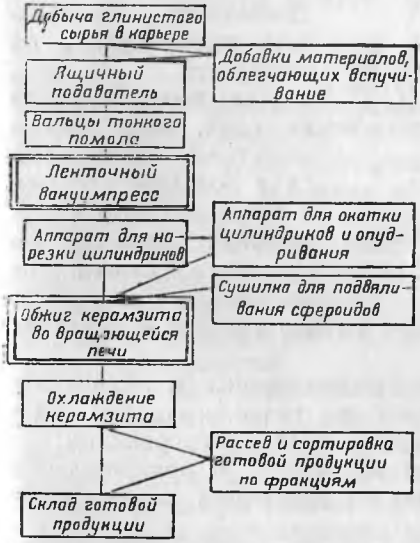


Рис. 42. Технологическая схема производства керамзитового гравия пластическим способом

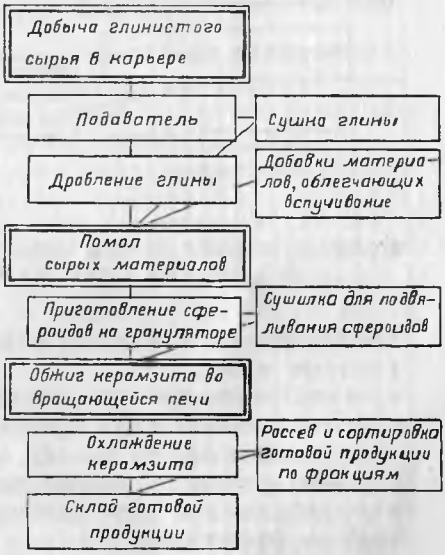


Рис. 43. Технологическая схема производства керамзитового гравия сухим способом

могут быть найдены и использованы другие методы. Особенно большие возможности заложены в способе приготовления полуфабриката из природного глинистого сырья путем его дробления на крошку размерами от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Вспучивание такой крошки позволяет получать керамзит различной гранулометрии, в том числе с плотной наружной оболочкой — керамзитовый песок.

12. Большинство глин, обладающих высокой и средней склонностью к вспучиванию, не нуждается в специальной окатке гранул полуфабриката. Независимо от формы исходных зерен полуфабрикат из таких глин при вспучивании принимает гравелистую форму.

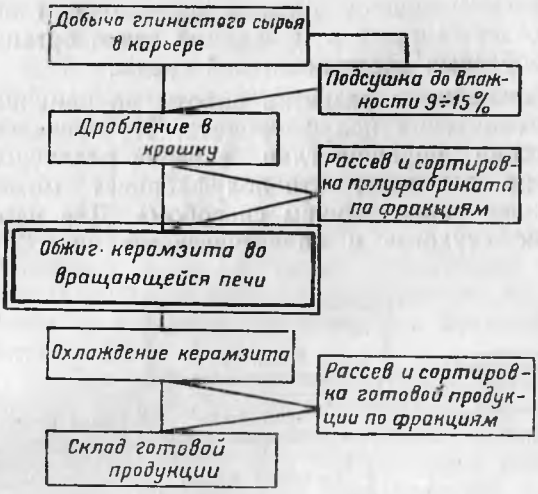


Рис. 44. Технологическая схема производства керамзита способом обжига дробленой крошки из природного глинистого сырья

13. Важным моментом технологии производства керамзита является вопрос сушки полуфабриката. Из опытов вытекает, что надо отказаться от неправильного мнения о необходимости высушивать полуфабрикат до влажности 3÷5%. Достаточно подвяливать полуфабрикат до влажности 7÷15%, а для полуфабриката из глин, обладающих свойством вспучиваться в большой степени, и вовсе исключить трудоемкий процесс искусственной сушки. Оптимальную влажность полуфабриката в каждом отдельном случае следует определять опытным путем.

14 Производство керамзита из подмосковных и ленинградских глин может быть организовано по технологическим схемам, показанным на рис. 42, 43 и 44 и предусматривающим:

а) пластический способ подготовки сырья и приготовление полуфабриката в виде цилиндриков на ленточном кирпичеделательном прессе (рис. 42);

б) сухой способ подготовки сырья и приготовление полуфабриката в виде сфероидов на грануляторе (рис. 43);

в) способ дробления природного или подсушенного глинистого сырья в крошку различных размеров в поперечнике;

г) обжиг во всех трех случаях полуфабриката в коротких трубчатых вращающихся печах длиной 8÷20 *м* и диаметром 1,2÷2,2 *м*.

15. На основе керамзитового гравия, керамзитового и кварцевого песка могут быть получены керамзитобетоны с широким диапазоном строительных свойств, предел прочности которых при сжатии колеблется от 25 до 500 *кг/см*^{2}, а объемный вес составляет соответственно от 600 до 1 800 *кг/м*^{3}.

Глава II

ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПЫТЫ ВСПУЧИВАНИЯ ГЛИН ВО ВЛАЖНОМ СОСТОЯНИИ

1. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работах автора [20, 22] показано, что на современном этапе развития технологии производства керамзита оптимальные условия для порообразования в глинистых полуфабрикатах создаются при двухступенчатой их термической обработке.

Исходя из этого принципа обжига надлежащего глинистого сырья, можно в условиях заводского производства получить керамзит требуемого качества.

Вместе с тем необходимо отметить, что решения, включающие трудоемкие процессы переработки сырья, изготовление сфероидов, их искусственную сушку и предварительную тепловую обработку полуфабриката, весьма усложняют технологическую схему производства.

Кроме того, искусственная сушка и последующее замедленное нагревание полуфабриката перед вспучиванием приводят к тому, что из глинистой массы до начала ее размягчения удаляется много газообразных продуктов, выполняющих полезную работу порообразования. Преждевременное удаление из материала таких составляющих как, например, физически и химически связанная вода, сводит на-нет их значение как катализаторов и химических реагентов при окислительно-восстановительных процессах, имеющих место в момент порообразования. Большое значение газообразной фазы при термической обработке материалов неоднократно подчеркивал в своих трудах действ. чл. Академии наук Украинской ССР П. П. Будников. Как показал чл.-корр. Академии архитектуры СССР проф. А. В. Волженский, паровая фаза имеет особое значение при водотермической обработке автоклавных материалов.

В поисках путей для устранения недостатков технологии производства керамзита, предусматривающей в качестве исходного полуфабриката для обжига керамзита сфероиды и предварительную их сушку перед вспучиванием, автор установил, что гранулы из глинистой массы с влажностью нормального рабочего теста или несколько подвяленные, в противоположность сухим гранулам, обладают высокой стойкостью против резкого повышения температуры окружающей среды, и в слу-

чае частичного разрушения гранул в процессе начальной замедленной тепловой обработки их при низких температурах осколки гранул также вспучиваются и даже принимают гравелистую форму.

Оказалось, что сфероиды из большинства глин с влажностью в 9÷40%, введенные в зону температур вспучивания, сохраняют форму и не разрушаются на части, что имеет место в случае аналогичного опыта с сухими или воздушно-сухими полуфабрикатами. Эти явления автор решил подвергнуть более подробному исследованию и воспользоваться ими для возможной рационализации технологии производства керамзита.

Следует отметить, что вопросы оптимальной влажности, при которой происходит интенсивное вспучивание глин, интересовали исследователей уже давно.

Так, например, действ. чл. Академии архитектуры д-р техн. наук проф. Н. А. Попов в своей работе [14] отмечает, что при изготовлении исходных керамзитовых блоков для исследования свойств керамзита и керамзитобетона по предложению Б. Н. Новикова был применен способ обжига в формах глиняной массы, влажность которой доходила до 40%.

Б. Н. Кауфман и В. С. Вдовьева в результате экспериментальных работ [13] определили, что оптимальная влажность для вспучивания кирпича-сырца из покровных суглинков - равна приблизительно 15%. В этой же работе указывается, что насадка кирпича из сырца, имеющего влажность в 20%, не дала надлежащего эффекта при вспучивании.

Считая весьма важными и такие факторы термической обработки увлажненных глин, как продолжительность нагревания и температура, автором была поставлена задача экспериментально выявить для ряда глин:

1) оптимальную влажность полуфабриката перед поступлением его в обжиг на вспучивание;

2) прочность влажных сфероидов на сплющивание под давлением (этот показатель весьма важен как производственный фактор; он оценивает способность влажных сфероидов противостоять нагрузке вышележащих слоев полуфабриката);

3) отношение влажных глин к вспучиванию при быстром нагревании;

4) отношение влажных глин к вспучиванию при замедленном нагревании [1].

2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследований были взяты характерные генетические разновидности легкоплавких глин Московской области.

[1] В этой работе, помимо автора, принимали участие инж. К. Е. Буренков и ст. лаборант В. М. Янтикова.

К первой группе, являющейся наиболее ценным сырьем для производства керамзита, автор относит так называемые ленточные глины. Представителем этой группы сырья является глина парсуковского месторождения.

Ко второй группе отнесены озерно-болотные глины. В опытах они представлены глинами Кучинского и Новоиерусалимского месторождений.

К третьей группе отнесены обычные покровные суглинки со слабой склонностью к вспучиванию. Из этой группы были исследованы глины Новоиерусалимского месторождения.

Факультативно и не в полном объеме была проведена также экспериментальная проверка на вспучивание во влажном состоянии ленточной глины Нурлатского месторождения, обладающей в высокой степени свойством вспучиваться.

Кроме того, была проведена полная серия испытаний смесей новоиерусалимского покровного суглинка с озерно-болотной новоиерусалимской синей глиной в соотношениях 1 : 1 и 3 : 1.

Химический состав исследованных глин приведен в табл. 16.

Таблица 16

Валовой химический состав глин[1]

Наименование глин	Потеря при прокаливании	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	Сумма
Парсуковская . . .	8,03	52,30	21,43	11,16	2,36	2,17	0,10	Не определяли	97,55
Кучинская озерно-болотная	9,76	60,73	16,92	7,00	1,37	1,73	—	То же	97,51
Новоиерусалимский суглинок	3,02	74,00	13,68	4,72	0,90	1,01	0,20	„	97,53
Нурлатская	8,75	55,75	18,34	9,61	1,83	1,99	0,17	„	96,44
Новоиерусалимская синяя	4,84	69,13	12,38	8,06	1,92	1,28	0,07	„	97,68

[1] Химические анализы выполнены инж. В. С. Баджагян.

3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Выбранные для экспериментальных работ глины предварительно измельчали на лабораторных бегунах и просеивали через сито с отверстиями в 0,6 *мм*. Формовку образцов производили, как правило, в день испытаний на вспучивание. В случае необходимости переноса испытаний на следующий день образцы покрывали мокрой тряпкой, и таким образом сохраняли их влажное состояние. Свежеотформованные сфероиды после определения количества воды для затворения подвяливали в естественных условиях в помещении лаборатории или в сушильном шкафу.

Для испытаний всегда брали три равных по размерам сфероида, в одинаковых условиях подвяленных или подсушенных до определенной влажности. Один из них испытывали на влажность, второй — на сплющивание под давлением, а третий — на вспучивание.

Образцами для выявления влияния замедленной тепловой обработки при низких температурах служили свежеприготовленные гранулы произвольной формы.

Влажность образцов в пересчете на сухое вещество определяли путем их высушивания до постоянного веса в сушильном шкафу при 110°.

Для изучения сплющивания под давлением сфероидов различной степени влажности был приспособлен прибор, применяемый для определения скорости схватывания цемента, но без иглы.

Для увеличения сплющивающей нагрузки на верхнюю площадку подвижного стержня ставили дополнительный груз.

Общее давление на сфероид диаметром 12 *мм* было принято равным 1 900 *г*. Примерно такое давление могут испытывать сфероиды от вышележащих слоев полуфабриката в процессе их передвижения во вращающейся печи. Влажный или подвяленный сфероид устанавливали на подставке прибора по оси подвижного стержня. Затем стержень осторожно, чтобы не создать динамическую нагрузку, доводили до сфероида и зажимали стопорным винтом. После проверки правильности установки сфероида стопорный винт ослабляли и фиксировали величину сплющивания сфероида.

Сплющивание определяли в виде процентного отношения линейной величины сплющивания к первоначальному размеру сфероида.

Обжиг образцов на вспучивание производили в электрической трубчатой печи завода «Платиноприбор». Нагревательный элемент этой печи позволял доводить температуру обжига до 1290°. Диаметр трубчатой печи, равный 40 *мм,* позволял обжигать гранулы диаметром не более 25 *мм,* с учетом увеличения их в объеме при вспучивании.

Температуру в печи контролировали платино—платино-родиевой термопарой с гальванометром. Термопару устанавливали с конца печи, противоположного месту ввода образцов.

Обжигаемый образец вводили в печь путем подкатывания, при этом образец всегда находился в непосредственной близости от места спая термопары.

Для предохранения сфероидов от прилипания к огнеупорной футеровке печи их окатывали тонким слоем сухого порошка огнеупорной глины.

Продолжительность пребывания сфероидов в зоне максимальных температур составляла от 3 до 15 мин. Замедленное

нагревание влажных образцов достигалось постепенным проталкиванием их от места загрузки до зоны максимальных температур и выдержкой при соответствующих температурах в термостате.

По окончании процесса вспучивания образец быстро вынимали из трубчатой печи и переносили в муфель, предварительно нагретый до 800÷900°. Затем в течение 2—3 час. температуру в муфеле доводили до комнатной.

Объем и объемный вес предварительно взвешенных образцов определяли ртутным объемомером с точностью измерения до 0,01 $см^3$.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с поставленной задачей результаты исследований можно подразделить на три подгруппы:

1) Оптимальная влажность полуфабриката перед поступлением его в обжиг на вспучивание при быстром нагревании

Свойство влажных глин вспучиваться определяли путем быстрого ввода образцов, имеющих комнатную температуру, непосредственно в зону электрической печи, нагретую до температуры вспучивания данного полуфабриката. Кривая термической обработки в указанных условиях изображена на рис. 45.

В период нагревания, т. е. нарастания температуры окружающей среды, температура полуфабриката всегда будет несколько ниже температуры окружающей среды. В период охлаждения, т. е. понижения температуры окружающей среды, напротив, температура материала всегда будет несколько выше температуры окружающей среды.

При быстрой термической обработке керамзита по этому методу кривая обжига представляет горизонтальную прямую, соответствующую температуре окружающей среды и равную по длине продолжительности обжига.

Если при термической обработке полуфабриката по «нормальным» кривым обжига его температура лишь немного ниже температуры окружающей среды, то при вводе сфероидов с комнатной температурой в печь, предварительно нагретую до высоких температур вспучивания, будет иметь место большая разница между температурой полуфабриката и температурой окружающей среды. Следствием этого явится процесс быстрого нагревания обжигаемого образца и, как показывает опыт, в течение 3—4 мин. температура образца поднимется до температуры окружающей среды.

Данные, полученные при исследовании различных глин на вспучивание во влажном состоянии при быстром нагревании, сведены в табл. 17, 18, 19, 20 и 21.

Из указанных таблиц видно, что для каждой разновидности глин существует своя собственная, определяемая опытным путем, оптимальная влажность полуфабриката перед поступлением непосредственно в область температур вспучивания, минуя зону предварительной тепловой обработки.

Глины, обладающие в высокой степени свойством вспучиваться, допускают значительные колебания во влажности полуфабриката до обжига.

Сырые глины, обладающие в слабой степени свойством вспучиваться, напротив того, требуют более точного регулирования влажности полуфабриката. Отступление от допустимого интервала влажности перед обжигом на вспучивание приводит к разрушению образцов.

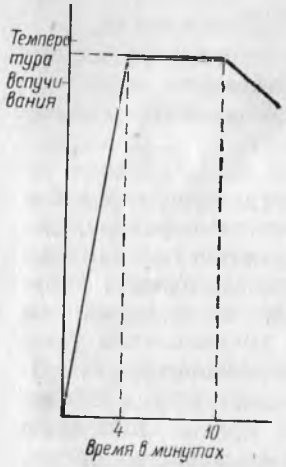


Рис. 45. Кривая термической обработки керамзита из увлажненных глин

Парсуковская глина, являясь лучшим сырьем, пригодным для производства керамзита, допускает колебание влажности от 43 до 17% (табл. 17).

Кучинская озерно-болотная глина допускает колебание влажности полуфабриката перед обжигом от 32 до 22% (табл. 18).

Новоиерусалимская синяя глина дает хорошее вспучивание при обжиге полуфабриката влажностью от 28 до 11% (табл. 19).

В то же время обладающий в слабой степени свойством вспучиваться суглинок новоиерусалимского месторождения в смеси с 50% новоиерусалимской синей глины (табл. 20) дает удовлетворительное вспучивание только в интервале влажности полуфабриката от 16 до 10%.

Нурлатская глина при влажности полуфабриката от 40 до 20% давала очень интенсивное вспучивание, значительно большее, чем при обжиге на вспучивание воздушно-сухих образцов. Керамзит получался объемным весом менее 0,2 *г/см*^{3}, причем материал увеличивался в объеме до 8 раз. Чистая новоиерусалимская кирпичная глина (суглинок) в условиях опыта, т. е. в окислительной атмосфере электрической печи при температуре до 1260° при разных влажностях, вплоть до воздушно-сухого состояния, не вспучивалась.

На рис. 46 и 47 показан керамзит, полученный методом ускоренного обжига влажных глин.

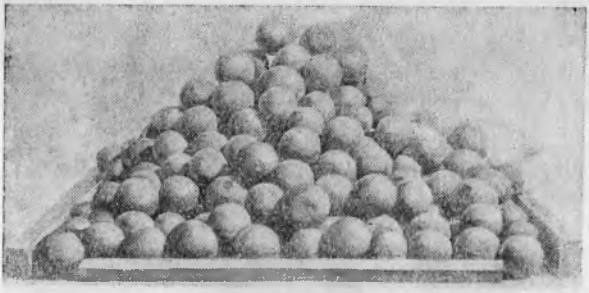


Рис. 46. Керамзитовый гравий, полученный путем обжига в электропечи гранул влажностью в 25%

Таблица 17

Условия и характер вспучивания парсуковской глины различной влажности

Влажность сфероидов в %	Температура обжига в град.	Продолжительность обжига в мин.	Результаты обжига	Объемный вес в $г/см^3$
42,8	1180	10	Образцы имеют тонкую поверхностную корку с мелкими посечками. Равномерная мелкопористая структура в изломе. Цвет—стальной	0,35
31,5	1180	10	При введении образцов в зону с температурой 1180° происходило слабое отскакивание с поверхности мельчайших кусочков. В изломе—мелкопористая структура. Цвет—стальной. Тонкая поверхностная корка	0,40
29,0	1180	10	При введении образцов в зону с температурой 1180° происходило более интенсивное отскакивание с поверхности кусочков материала. Тонкая поверхностная корка. В изломе—равномерная мелкопористая структура. Цвет — стальной . . .	0,30
26,7	1180	10	При введении образцов в зону с температурой 1180° происходило очень интенсивное отскакивание мелких кусочков с поверхности. Образец разрушился почти до половины. Остаток вспучился хорошо. Тонкая гладкая поверхностная корка. В изломе — мелкопористая структура. Цвет—стальной	0,35

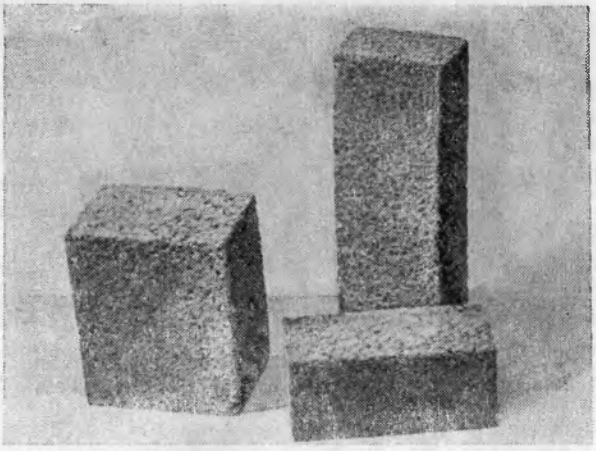


Рис. 47. Образцы штучного керамзита, полученного путем обжига увлажненного полуфабриката

Таблица 1

Условия и характер вспучивания кучинской глины различной влажности

Влажность сфероидов в %	Температура обжига в град.	Продолжительность обжига в мин.	Результаты обжига	Объемный вес в *г/см*³
31,4	1200	10	При введении образцов в зону с температурой 1200° образовались глубокие трещины, которые в дальнейшем, при незначительном вспучивании, еще более расширились с образованием рваной поверхности. Поверхностная корка — толстая. В изломе—пористая структура. Размер пор доходит до 4 *мм* в диаметре	0,9
29,4	1200	10	Образовавшиеся в первый момент трещины при дальнейшем расширении (вспучивании) „заплыли". Образец имеет тонкую поверхностную корку с большим количеством неглубоких борозд. Цвет—темный, с блеском. В изломе—пористая структура	0,8
22,0	1200	10	При введении образцов в зону с температурой 1200° происходило очень интенсивное отскакивание кусочков материала с поверхности сфероидов, без полного их разру-	

Влажность сфероидов в %	Температура обжига в град.	Продолжительность обжига в мин.	Результаты обжига	Объемный вес в г/см³
			шения. Оставшаяся часть—несколько больше половины — вспучилась неудовлетворительно. Вследствие полного удаления опудривающего слоя при отскакивании материала с поверхности образцы прилипали к футеровке	1,0

Таблица 19

Условия и характер вспучивания новоиерусалимской глины различной влажности

Влажность сфероидов в %	Температура обжига в град.	Продолжительность обжига в мин.	Результаты обжига	Объемный вес в г/см³
30,6	1200	10	Образовалась толстая поверхностная корка, пронизанная большим количеством канальцев. Сердцевина—пористая, стального цвета	1,0
30,7	1200	10	То же	1,0
27,4	1200	10	Тонкая поверхностная корка с мелкими посечками. В изломе—мелкопористая структура. Цвет—стальной	0,7
19,3	1200	10	Тонкая поверхностная корка с очень мелкими посечками. В изломе — равномерная мелкопористая структура. Цвет—стальной	0,7
11,8	1200	10	Тонкая поверхностная корка с едва заметными посечками на некоторых участках поверхности. В изломе — стальной цвет. Наряду с мелкими порами образовались также и крупные размерами до 3—4 *мм*. Происходит очень слабое отскакивание мелких кусочков материала с поверхности	0,7
11,1	1200	10	При внесении образцов в зону с температурой 1200° происходило весьма интенсивное отскакивание кусочков материала с поверхности. В изломе — мелкопористая структура. Цвет — стальной	0,7

Таблица 20

Условия и характер вспучивания смеси новоиерусалимских глины и суглинка (1 : 1) различной влажности

Влажность сфероидов в %	Температура обжига в град.	Продолжительность обжига в мин.	Результаты обжига	Объемный вес в *г/см*³
20,0	1230	10	Образовалась толстая поверхностная корка, пронизанная большим количеством канальцев. Сердцевина имеет пористое строение. Цвет — стальной	1,0
16,1	1230	10	Вспучивание — удовлетворительное. Тонкая поверхностная корка. Равномерная мелкопористая структура. Стенки пор оплавлены . . .	0,9
14,2	1230	10	При введении образцов в зону с температурой 1230° происходило весьма слабое точечное отскакивание кусочков материала с поверхности. Образец вспучился хорошо. Тонкая поверхностная корка грязножелтого цвета, местами шероховатая. Цвет — стальной	0,8
10,0	1230	10	То же	0,7
6,0	1230	10	При введении образцов в зону с температурой 1230° происходило очень интенсивное отскакивание кусочков материала с поверхности. Образцы вспучились хорошо. Гладкая тонкая поверхностная корка. В изломе—цвет стальной. Имеются крупные поры размерами до 4 *мм*	0,7

Таблица 21

Условия и характер вспучивания новоиерусалимских синей глины и суглинка (1 : 3) различной влажности

Влажность сфероидов в %	Температура обжига в град.	Продолжительность обжига в мин.	Результаты обжига	Объемный вес в *г/см*³
25,2	1250	10	Образцы не вспучились. Поверхность покрыта большим количеством неглубоких трещин. Признаков порообразования нет . . .	—
22,8	1250	10	Образцы не вспучились. В центре сфероидов имеются закрытые оплавленные поры. Цвет серд-	

Влажность сфероидов в %	Температура обжига в град.	Продолжительность обжига в мин.	Результаты обжига	Объемный вес в г/см³
			цевины—стальной. Толстая поверхностная корка изборождена многочисленными канальцами	1,2
21,7	1250	10	Образец не вспучился. Толстая поверхностная корка, пронизанная большим количеством трещин. Сердцевина вспучилась	1,2
19,0	1250	10	В изломе сердцевина оказалась пористой. Поры мелкие. Цвет пористой части—стальной. Поверхностная корка—толстая. Спекшаяся часть сфероида пронизана глубокими трещинами	1,0
17,8	1250	10	Образцы вспучились удовлетворительно. Поверхностная корка покрыта большим количеством глубоких борозд. В середине—мелкопористая структура. Цвет—стальной	0,9
13,4	1250	10	Вспучились хорошо. Тонкая поверхностная корка грязножелтого цвета покрыта мелкой сеткой трещин. В изломе—равномерная мелкопористая структура. Цвет—стальной	0,8
10,5	1250	10	Образцы вспучились хорошо. Тонкая шероховатая поверхностная корка. Цвет—стальной	0,7
8,5	1250	10	При введении в зону с температурой 1250° происходило интенсивное отскакивание кусочков материала с поверхности сфероидов. Образцы вспучились хорошо. Тонкая поверхностная корка. Мелкопористая структура. Цвет — стальной	0,7

2) Прочность влажных сфероидов на сплющивание под давлением

Необходимо отметить, что влажность полуфабриката перед поступлением в обжиг должна рассматриваться в совокупности с другими важными показателями, характеризующими данное сырье, в первую очередь, повидимому, с прочностью влажных сфероидов на сплющивание под давлением. Это требование вытекает из необходимости предотвращения комкования и слипания

частиц полуфабриката в процессе его загрузки в печь и передвижения полуфабриката вдоль оси вращения печи, а также при хранении полуфабриката в бункерах перед поступлением его на обжиг.

Принятый способ определения прочности на сплющивание под давлением не может быть признан точным, тем не менее для практических целей полученные показатели являются достаточными.

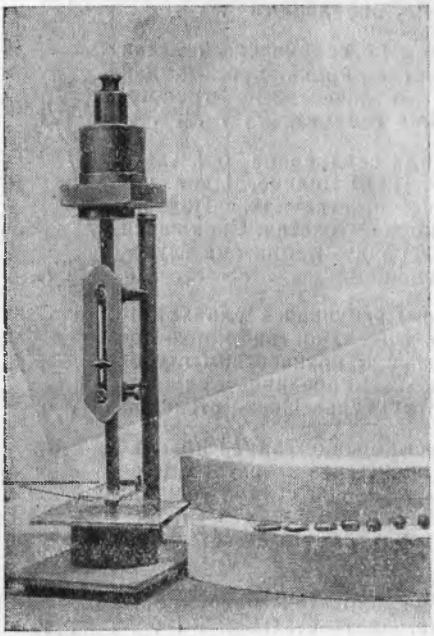


Рис. 48. Прибор для определения сплющивания глиняных сфероидов под нагрузкой; справа показан вид гранул, подвергавшихся сплющиванию при различной степени влажности

Соответствующие показатели, полученные для парсуковской, кучинской и новоиерусалимской синей глин, сведены в табл. 22.

Полуфабрикат из парсуковской глины с влажностью в 42,8% дает почти стопроцентное сплющивание. Следовательно, для получения керамзитового гравия в производственных условиях такая влажность полуфабриката не может быть допущена, хотя в условиях опыта раздельно обжигаемые образцы с указанной влажностью дают хорошее вспучивание. При влажности в 31,5% сплющивание составляет 30,7%. Возможность применения в производственных условиях полуфабриката с такой влажностью не исключена, так как технологический поток полуфабриката не вызовет нагрузок, принятых автором при экспериментальном опробовании. Уже при влажности в 29,0% образцы совершенно не сплющиваются и в то же время хорошо вспучиваются.

Новоиерусалимская синяя глина, допускающая вспучивание при довольно широком диапазоне влажности — от 28 до 11%, вследствие значительного сплющивания под давлением, сужает интервал оптимальной влажности до 20—11%.

Интервал оптимально-допустимой влажности для сырья, обладающего пониженной степенью свойства вспучиваться, например, для смеси новоиерусалимского суглинка и новоиерусалимской синей глины, полностью согласуется с требованиями проч-

ности на сплющивание под давлением, т. е. при оптимальной влажности полуфабриката сплющивание под принятым давлением равно нулю.

На рис. 48 изображен прибор для определения сплющивания под давлением и общий вид полуфабриката, подвергнутого сплющиванию при различной степени влажности.

Таблица 2

Сплющивание влажных сфероидов под давлением

Влажность сфероидов в %	Степень сплющивания в % от первоначального размера
Парсуковская глина	
42,8	97,0
31,5	30,7
29,0	0
Кучинская синяя глина	
31,4	97,0
29,4	41,0
22,0	0
Новоиерусалимская синяя глина	
30,6	30,8
30,7	17,7
27,4	14,0
19,3	4,4
11,8	0

3) Отношение влажных глин к вспучиванию при замедленном нагревании

Считаясь с трудностями создания высокой температуры на всем протяжении короткой вращающейся печи от места сжигания топлива до места ввода полуфабриката, вследствие чего влажный полуфабрикат не будет попадать сразу же в зону температур его вспучивания, было решено провести серию испытаний глин во влажном состоянии при некотором замедленном начальном их нагревании; кроме того, такое решение способствовало выявлению возможности обжига на вспучивание произвольной формы влажного полуфабриката без его предварительной искусственной сушки.

В условиях опытов автора нагревание влажных сфероидов производилось при температурах 500, 700 и 1000°, а влажных гранул произвольной формы — при 80, 120, 250 и 500°. Время выдержки образцов при каждой из этих температур колебалось в пределах 3÷25 мин.

Опыты показали, что если влажный образец попадает первоначально в зону печи с более низкой температурой, чем температура его вспучивания, но выше 250°, и задерживается в этой зоне более или менее продолжительное время, то образец чрезвычайно быстро растрескивается и разрушается с частичной или полной потерей свойства вспучиваться. Даже образцы из парсуковской глины, обладающей повышенной степенью свойства вспучиваться, выдержанные при 500° свыше 5 мин., в значительной мере теряют способность к порообразованию. В условиях выдержки при 1000° до 15 мин. и при 700° — не более 5 мин. характер вспучивания и качество керамзита из этой глины равноценны с результатами, ранее полученными при быстром обжиге влажных образцов, введенных в область температур вспучивания.

Влажные сфероиды из озерно-болотных глин, выдержанные при температурах 500÷700° только 3 мин., в значительной степени теряют присущее им свойство порообразования, разрушаясь при этом на слабо связанные между собой частички.

Хорошее вспучивание сфероидов из данных глин получилось в условиях 5-мин. выдержки их при температуре 1000°. Более длительная выдержка при этой температуре приводит к большому снижению интенсивности порообразования, утолщению поверхности корки и увеличению объемного веса.

Образцы, приготовленные из равных частей новоиерусалимского суглинка и новоиерусалимской синей глины, выдержанные при температуре 1000° только в течение 3 мин., теряли свое свойство вспучиваться. Каждый раз в результате обжига во влажном состоянии образцов из этого сырья с предварительной выдержкой их при более низких температурах, чем температура вспучивания, получали черепок, пронизанный трещинами различной глубины и рассыпавшийся на мелкие частички.

Совершенно другие выводы можно сделать о поведении испытанных образцов из тех же глин, но подвергавшихся замедленному нагреванию при более низких температурах: 80, 120 и 250°. В противоположность отрицательному влиянию выдержки образцов при высоких температурах (но ниже температур вспучивания) оказалось, что более длительная тепловая обработка полуфабриката при низких температурах, наоборот, благотворно влияет на процесс вспучивания. Образцы из парсуковской и озерно-болотной глин, выдержанные сначала при температуре 80° в течение 10 мин., затем при 120° в течение 10 мин. и при 500° в течение 5 мин. и введенные после этого в область температур 1200°, вспучились вполне удовлетворительно. При этом трещины, образовавшиеся в процессе предварительной тепловой обработки, «заплыли», а неправильная вначале угловатая форма гранул приняла вид помятого округлого сфероида.

Те же результаты были получены при выдержке в течение 10, 10, 5 и 5 мин. соответственно при температурах 80, 120, 250 и 500°.

Предварительная выдержка гранул в течение 15, 10 и 5 мин. при температурах соответственно 120, 250 и 500°, не нарушая существенно свойства глин вспучиваться, приводит к более сильному растрескиванию образцов, осколки которых, однако, хорошо вспучиваются, принимая вид смятых сфероидов.

5. ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН И РАЗРУШЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМЗИТА

Термическая стойкость глинистого полуфабриката при обжиге керамзита вытекает из физико-химической сущности процессов искусственной дегидратации дисперсных систем и условий их термической обработки.

Глинистый увлажненный полуфабрикат имеет неправильную сетчатую структуру, при которой частицы полидисперсной твердой фазы окружены со всех сторон водой. Капилляры, наполненные водой, имеют различные размеры. В процессе дегидратации при омывании влажного материала горячими газами влага с его поверхности испаряется в окружающую среду.

В общем виде интенсивность испарения зависит от следующих условий:

а) степени насыщенности окружающей газовой среды водяными парами;

б) скорости движения газов над поверхностью испарения;

в) температуры газовой среды;

г) барометрического давления;

д) температуры испаряющейся жидкости.

Изложенное справедливо для случаев испарения влаги со свободной поверхности и характеризует так называемую внешнюю диффузию. При тепловой обработке влажных материалов интенсивность испарения будет зависеть и от внутренней диффузии влаги в полуфабрикате.

Связь между внешней и внутренней диффузией влаги в полуфабрикате все еще недостаточно изучена.

Если внешняя диффузия влаги со свободной поверхности достаточно точно определяется формулами, учитывающими перечисленные условия, то в отношении внутренней диффузии можно только сказать, что она зависит от следующих условий:

а) влажности подвергнутого сушке полуфабриката;

б) температуры полуфабриката;

в) гранулометрического состава его и

г) внешней диффузии.

Испарение воды с поверхности полуфабриката нарушает влажностное равновесие между поверхностным слоем и нижележащими слоями. Восстанавливая нарушенное равновесие, влага из центральных участков диффундирует к периферии. Скорость, с которой будет происходить восстановление равновесия (внутренняя диффузия), нарушенного внешней диффузией (ис-

парением со свободной поверхности), очевидно определится капиллярностью материала и подвижностью воды, что главным образом зависит от гранулометрического состава и температуры полуфабриката.

В мелкодисперсном полуфабрикате имеет место более интенсивная диффузия влаги. Однако уменьшение диаметров капилляров приводит к увеличению влияния трения жидкости о стенки капилляров, что значительно понижает скорость диффузии влаги. С укрупнением частиц скорость диффузии влаги уменьшается, однако вследствие уменьшения трения увеличивается скорость продвижения влаги по капиллярам.

Многочисленными наблюдениями установлено, что при дегидратации большинства материалов, в том числе и глин, графическая зависимость влагоотдачи от времени имеет вид затухающей кривой. В первый период сушки полуфабриката влагоотдача протекает при равномерном испарении влаги. Во второй период влагоотдача замедляется и кривая приближается к горизонтали. Примерно такой же характер имеет кривая зависимости между усадкой и количеством испаренной влаги (рис. 49).

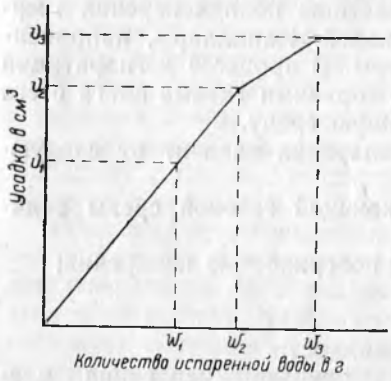


Рис. 49. Кривая зависимости между усадкой глин и количеством испаренной воды

В первый период сушки полуфабриката до определенной остаточной влажности интенсивность сушки определяется параметрами, характеризующими испарение влаги со свободной поверхности, т. е. внешней диффузией. В последующем, после так называемой критической точки влагоотдачи, скорость испарения определяется внутренней диффузией. Если внутренняя диффузия влаги в полуфабрикате меньше интенсивности испарения ее с поверхности, то наступает нарушение равновесия во влажности поверхностных и нижележащих слоев. Это обстоятельство приводит к тому, что уровень воды в капиллярах с поверхности полуфабриката понижается, в связи с чем образуется пересушенный слой — поверхностная корка.

Распределение влаги и усадка по толще дегидратируемого полуфабриката во время сушки — различны. В поверхностном слое полуфабриката влагосодержание будет минимальным. По мере приближения к центру гранулы полуфабриката влагосодержание увеличивается. Так как такое неравномерное распределение влаги наиболее сильно проявляется во время первого периода сушки, когда усадка полуфабриката определяется количеством испаренной воды, то разница во влагосодержании по всей толще

полуфабриката сопровождается различными сжимающими усилиями в его различных слоях.

Очевидно, что сжатие имеет максимум в поверхностном слое и минимум в центре. В результате этого в полуфабрикате возникают напряжения, которые будут тем сильнее, чем больше разность во влагосодержании между поверхностными и внутренними слоями полуфабриката, чем больше сопротивление продвижению влаги из центра гранулы полуфабриката наружу, которое оказывают поверхностные слои.

Трещины и даже разрушение полуфабриката в процессе тепловой обработки являются результатом действия сил, возникающих вследствие неравномерной влагоотдачи по всей толще полуфабриката. Минимальное напряжение имеет место в том случае, когда скорость удаления влаги с поверхности, т. е. внешняя диффузия, приблизительно равна скорости продвижения влаги из центра гранулы полуфабриката, т. е. величине внутренней диффузии. В этом случае достигается равномерное распределение влаги по толще полуфабриката, различие в усадке между поверхностными и внутренними слоями сводится к минимуму и полуфабрикат не разрушается.

Значение сушки полуфабриката не ограничивается предварительной тепловой обработкой его перед обжигом, и состоит в том, что в процессе сушки изменяется физико-механическая структура полуфабриката. Глинистые частицы, разобщенные в увлажненном полуфабрикате, к концу сушки под действием капиллярного давления принимают как бы «ориентированное» положение и вступают в контакт друг с другом.

Капиллярное давление в увлажненной глинистой массе может достигать весьма большого значения и зависит от следующих параметров:

а) диаметра пор или, что то же, промежутков между частицами;

б) отношения между давлением пара в окружающей атмосфере и давлением насыщенного пара при температуре обезвоживания;

в) поверхностного натяжения воды в конкретных условиях сушки с учетом влияния, оказываемого электролитами глинистой массы на его величину.

Эти параметры связаны между собой следующими двумя известными уравнениями:

$$K = \frac{2A}{D} = 1\,300 \ln \frac{1}{W},$$

где K — капиллярное давление в *кг/см²*;

D — диаметр пор на уровне менисков в *см*;

A — поверхностное натяжение в *кгсм*;

W — отношение между давлением пара в окружающей среде и давлением насыщенного пара при температуре обезвоживания.

Приближенный подсчет показывает, что при равновесном состоянии дисперсной системы параметры, его обусловливающие, имеют порядок величин, указанный в табл. 23.

Таблица 23

Значения параметров увлажненной глинистой массы

Параметры	Значения					
W	0,20	0,40	0,60	0,80	0,90	0,95
K—капиллярное давление в $кг/см^2$.	2 100	1 200	650	300	150	60
D—диаметр пор в ангстремах . . .	8	10	22	55	115	250

Влияние капиллярного давления сказывается на сжатии дисперсной системы и ее усадке.

Если объем смоченных пор обозначить через V_m, а напряжения сжатия, связанные с усадкой, через Φ, то:

$$\Phi = V_m \cdot 1\,300 \ln \frac{1}{W_2}.$$

При этом сжатие полуфабриката и его усадка наблюдаются лишь в том случае, если система выводится из равновесия и новое W_2 меньше W_1 равновесного, причем необезвоженные поры в материале имеют диаметр меньший, чем

$$D = \frac{2A}{1\,300} \ln \frac{1}{W_2}.$$

Изложенные выше положения удовлетворительно объясняют причины появления трещин и разрушения полуфабриката в процессе его сушки перед вспучиванием.

При высушивании благодаря высокому капиллярному давлению и молекулярным силам сцепления между глинистыми частицами полуфабрикат уплотняется и приобретает большую жесткость. Такая малоподвижная, неспособная к пластическим деформациям система, при резком повышении температуры и возникновении давления газообразных продуктов разложения и диссоциации, испытывает внутренние напряжения, которые приводят ее не к расширению, а к резкому разрыву полуфабриката на мельчайшие осколки.

Поведение образцов увлажненных глин при тепловой и термической обработке носит другой характер.

Из проведенных нами опытов вытекает следующее.

1. Свежеотформованные сфероиды из рабочего теста нормальной влажности или подвяленные до определенной остаточной влажности при введении их в область высоких температур не теряют целостности формы до момента вспучивания.

2. Влажные сфероиды при длительном пребывании их в среде с температурой ниже температуры вспучивания растрескиваются и в значительной степени разрушаются.

3. Сфероиды воздушно-сухие или подвяленые до остаточной влажности, лежащей ниже определенного предела, при введении их в область высоких температур разрушаются на мельчайшие осколки. Несомненно, что при введении влажного полуфабриката в зону температур вспучивания происходят процессы, которые имеют место и при обжиге керамических изделий: испарение воды, разложение глинистого вещества, диссоциация и т. п.

Ввиду быстротечного характера обжига некоторые из этих процессов происходят в области более высоких температур и в большей степени совпадают по времени друг с другом, чем при постепенном подъеме температуры. Очевидно, что в такой системе развиваются огромные количества газообразных продуктов, давление которых достаточно для разрушения материала и образования свободного выхода. Такое разрушение в сущности и происходит.

Наблюдения за поведением влажных глиняных сфероидов, введенных в область высоких температур, показывают, что полуфабрикат тотчас же покрывается сеткой мельчайших трещин. Общая целостность формы при этом все же сохраняется.

Через образовавшуюся разветвленную сеть канальцев происходит интенсивный выход газообразных продуктов. Однако, вследствие пластических свойств и малого сопротивления увлажненных глин выходу из них парообразных и газообразных продуктов, разрушение практически ограничивается только образованием разветвленной сетки мельчайших трещин; эти трещины пронизывают всю толщу материала и расчленяют его на слабо связанные между собой глинистые частички, промежутки между которыми представляют собой пути выхода газов наружу.

После удаления избытка газообразных продуктов при высоких температурах глинистый полуфабрикат размягчается и вспучивается, а образовавшаяся на первом этапе сетка из мельчайших трещин заплывает за счет контакта между стенками пор вспученного полуфабриката.

В том же случае, когда глина может лишь незначительно вспучиваться или нагрев полуфабриката не доведен до температуры порообразования, после обжига получается пронизанный трещинами продукт, имеющий низкую механическую прочность.

Что касается влияния длительной выдержки увлажненного полуфабриката при температурах ниже температуры вспучивания (в пределах 500÷1000°), то этот фактор отрицательно сказывается, вследствие потери полуфабрикатом значительной части полезных для процесса порообразования газообразных продуктов, выполняющих работу расширения при размягчении полуфабриката.

Длительная выдержка полуфабриката при низких температурах (80÷250°) приводит к более спокойному удалению влаги из полуфабриката, вследствие чего он подвергается менее сильному разрушению, а образовавшиеся в этот момент трещины не носят характера разветвленной сетки, разъединяющей полуфабрикат на отдельные мельчайшие частички. Более того, замедленное нагревание полуфабриката при низких температурах способствует уплотнению его массы, незатронутой трещинами, что в совокупности с фактом сохранения полуфабрикатом газообразных продуктов, полезных для порообразования, приводит к удовлетворительному вспучиванию гранул при введении их в область высоких температур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТА

Опыт вспучивания полуфабриката из глинистого сырья, в том числе результаты экспериментальных исследований, изложенные в первой и во второй главах настоящей брошюры, создает ряд предпосылок для рационализации технологии производства керамзита.

Как известно, процесс изготовления керамзита состоит из двух основных операций:

а) приготовления исходного полуфабриката и

б) обжига его со вспучиванием.

Если принципы обжига керамзита в коротких (8÷20 *м*) вращающихся печах на современном этапе еще могут считаться приемлемыми, поскольку они позволяют организовать производство керамзита поточно-скоростными методами с максимальным использованием механизмов, то способы приготовления полуфабриката требуют существенных изменений и рационализации.

Рекомендуемые в настоящее время пластический и сухой способы переработки глины в полуфабрикат, пригодный для последующего обжига, являются сложными, трудоемкими и дорогими в эксплуатации. Достаточно познакомиться с основными элементами технологической схемы, чтобы убедиться в справедливости сказанного.

Пластический способ предусматривает переработку сырья часто на бегунах и с применением камнеотделительных вальцев; изготовление гранул на ленточном кирпичеделательном прессе; окатку гранул в сфероиды и опудривание их огнеупорным порошком; искусственную сушку полуфабриката.

Сухой способ предусматривает сушку природной глины в сушильных барабанах; дробление глины; размол сухой глины в тонкодисперсный порошок; грануляцию порошка в сфероиды на грануляторе; искусственную сушку полуфабриката.

Как ни велика разница в приемах обработки глинистого сырья, общей характерной чертой обоих способов является конечный результат: они предусматривают получение различной крупности гранул в виде сфероидальных тел, высушенных до остаточной влажности в 3÷5%.

Такой сложный процесс выработки полуфабриката не всегда вызывается необходимостью и объясняется стремлением получить высушенный полуфабрикат сфероидальной формы.

Как показали опыты автора, для получения готового продукта, в том числе и сфероидальной формы, не обязательно загружать в печь полуфабрикат той же формы. Угловатые частицы глиняной массы или крошка любой формы размерностью, соответствующей гранулометрии легких заполнителей, в процессе передвижения вдоль оси вращения печи, а также при вспучивании окатываются, расширяются и в большинстве случаев принимают гравелистую форму. Наблюдениями автора также установлено, что даже в том случае, когда во вращающуюся печь поступает полуфабрикат сфероидальной формы, в результате воздействия горячих газов он в значительной мере разрушается на отдельные осколки, которые лишь при вспучивании наравне с неразрушенными гранулами принимают округлую форму. Отмечается также, что чем больше обладает данное сырье свойством вспучиваться, тем больше вероятности, что гранулы сырья произвольной формы примут вид сфероидов. Наконец, необоснованность взглядов о необходимости придавать полуфабрикату сфероидальную форму подтверждается требованиями к готовому продукту со стороны строителей, во многих случаях предпочитающих пользоваться при подборе состава бетонов заполнителями, имеющими форму угловатого щебня.

В связи с этим важно уяснить, что высокие качества керамзитового гравия как заполнителя легких бетонов определяются не столько формой его частиц, сколько их равномерно пористой структурой и прочной спекшейся шероховатой наружной оболочкой, облекающей поры.

В такой же мере нельзя признать во всех случаях обоснованными требования к влажности полуфабриката, согласно которым поступающие на обжиг в печь гранулы должны быть высушены до остаточной влажности в 3÷5%.

Обычные представления, заимствованные из практики керамической технологии, о вредном влиянии избыточной влаги к процессам изготовления керамзита не применимы по крайней мере по двум причинам. Во-первых, потому, что влага оказывает при производстве керамзита полезное влияние на процессы вспучивания, участвуя в порообразовании как газообразная фаза. Во-вторых, потому, что разрушающее действие влаги при интенсивном испарении ее из полуфабриката на целостность гранул, в особенности, если они обладают в высокой степени свойством вспучиваться, не является препятствием для удовлетворительного завершения конечной фазы термической обработки — порообразования.

Опыт показывает, что глинистая крошка, разрушенная или получившая трещины в начальный период тепловой обработки в результате расширения при вспучивании, принимает гравели-

стую или угловатую форму пористого заполнителя с плотной, прочной и шероховатой наружной оболочкой. Кроме того, при необходимости, регулируя характер тепловой обработки в начальный период обжига, можно до известной степени смягчить разрушающее действие избыточной влаги.

Из изложенного следует, что способы приготовления полуфабриката должны обеспечить получение гранулированного (не обязательно высушенного) материала любых формы и крупности в пределах размерности фракций легкого заполнителя бетона, включая керамзитовый песок.

Изложенные выше предпосылки дают основание наметить некоторые пути рационализации современной технологии производства керамзита.

Уже на современном этапе экспериментальных работ можно со всей определенностью установить, что какого-либо универсального приема переработки глины и ее грануляции в полуфабрикат не может быть. Способы изготовления полуфабриката, его размеры, форма и пр. могут и должны изменяться в зависимости от свойств потребляемого сырья и требований к физико-механическим свойствам готового продукта.

Большое, если не решающее, значение при выборе способов изготовления полуфабриката на данном сырье имеют текстура и физико-химические свойства природной глинистой породы. Так, например, глины одних месторождений в природном состоянии разрыхлены и увлажнены; другие имеют сланцеватое строение, но также увлажнены; третьи представляют собой плотную, окаменевшую, почти сухую породу; четвертые переувлажнены и зыбки, с высокими тиксотропными свойствами. Кроме того, разные глины обладают в различной степени свойством вспучиваться.

Очевидно, что всякое однотипное решение при выборе способов переработки сырья и приготовления полуфабриката для указанных разновидностей глин будет нерациональным.

Если окаменевшая глинистая порода, раздробленная в крошку на фракции соответствующих размеров, удовлетворительно вспучивается при производстве керамзита без всякой предварительной переработки, то, естественно, отпадает надобность и в операциях размола, замачивания, грануляции и окатки зерен. То же можно сказать и о сланцах. С другой стороны, увлажненные глины с пестрым и неоднородным составом и строением требуют более сложной переработки, заключающейся в разрушении природной структуры и грануляции в полуфабрикат, отвечающий требованиям строительного производства.

Повидимому, способ приготовления полуфабриката путем непосредственного дробления природного глинистого сырья является наиболее рентабельным и заслуживает предпочтения перед другими. Как показали опыты автора, этим способом может быть изготовлен керамзит высокого качества. Помимо технико-

экономических преимуществ, не менее важной особенностью этого способа является возможность получения керамзита с широким диапазоном фракций, требуемых для изготовления легких бетонов. Используя указанный способ, впервые оказалось возможным получить легкий керамзитовый песок с плотной шероховатой наружной оболочкой, закрывающей поры, объемным весом 500÷800 *кг/м*³.

Большое распространение плотных глинистых пород, обладающих свойством вспучиваться, позволяет рекомендовать их как местное сырье для производства керамзита.

Вместе с тем, обращает на себя внимание и тот факт, что многие увлажненные глины, будучи подсушенными, а потом раздробленными, не распыляются в порошок или гранулы со слабо связанными частицами, а превращаются в плотную крошку различной величины с однородной структурой и составом. Технологию производства керамзита из таких глин также целесообразно проектировать по упрощенной схеме, в основу которой положен принцип дробления подсушенного природного глинистого сырья.

Многие, однако, глины в особенности суглинки не только увлажнены, но обладают, кроме того, неоднородностью состава. Залежи таких глин характеризуются пестротою строения и состава как целых пластов, так и отдельных комочков, пронизанных или окаймленных разнотипными минералогическими наслоениями. Равномерное вспучивание этих глин может быть обеспечено лишь после разрушения естественной структуры и перемешивания. Это обстоятельство предопределяет более сложную переработку глин пластическим или сухим способом. Однако и здесь возможна и необходима рационализация методов грануляции исходного полуфабриката.

Представляется целесообразным наметить два пути:

а) по схеме, когда основные технологические операции подготовки сырья и приготовления полуфабриката максимально сокращены и сведены к изготовлению любой формы гранулированного полуфабриката на подходящем механизме, установленном у загрузочного конца вращающейся печи и являющимся непосредственным ее питателем;

б) по схеме, предусматривающей обжиг керамзита во вращающейся печи, исходным полуфабрикатом для которого служит шлам, приготовляемый в болтушках.

Оба варианта ориентированы на обжиг увлажненного полуфабриката, тепловая обработка которого с той или другой интенсивностью происходит за счет избыточного тепла отходящих газов во вращающейся печи. Естественно, что в каждом отдельном случае при выборе технологического процесса производства необходимо проводить по намечаемой схеме предварительные полузаводские испытания местного глинистого сырья с проверкой его свойства вспучиваться.

ВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПОСТАВКУ КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ ДЛЯ БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ В МОСКВЕ

Разработаны Управлением строительства Дворца Советов при Совете Министров СССР	ВТУ 5-48	Утверждены Комитетом по делам архитектуры при Совете Министров СССР 21 апреля 1948 г.

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ

§ 1. Гравий керамзитовый представляет собой материал клинкерного типа, ячеистого строения с замкнутыми порами, вырабатываемый из легкоплавких глин путем обжига при определенном температурном режиме.

§ 2. Керамзитовый гравий применяется в качестве заполнителя для легких бетонов.

II. КЛАССИФИКАЦИЯ

§ 3. В зависимости от объемного веса в насыпном виде керамзитовый гравий подразделяется на две марки:

марка Л — вес не более . . . . . 500 *кг/м*³
» Т — » » » . . . . . 800 »

В зависимости от размера зерен керамзитовый гравий делится на две фракции: мелкую — от 7 до 20 *мм* и крупную — от 20 до 40 *мм*.

III. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

§ 4. Гравий должен иметь округленную форму, в расколе — ячеистую структуру и плотную оболочку, поверхность которой может частично быть остеклованной. Размеры пор (ячеек) должны быть от долей миллиметра до 3 *мм* по большому измерению.

§ 5. Объемный вес фракций в насыпном виде должен быть не более (в *кг/м*³):

	Марка	
	Л	Т
фракции мелкой	550	850
» крупной . . .	450	800

§ 6. Водонасыщение по истечении 24 час.:

для марки Л . . . . . 15 %
» » Т . . . . . 12 %

IV. ПРОЧНОСТЬ

§ 7. Прочность керамзитового гравия определяется испытанием его в бетоне. Для этого на портландцементе определенной активности, испытуемом гравии и москворецком песке приготовляется три замеса бетона с водоцементными отношениями 0,50, 0,65 и 0,80 с консистенцией $S_e = 2 \div 3$ *см*. Из замеса бетона, приготовленного при каждом из указанных отношений, изготовляется 3 кубика размерами 12 *см* в стороне, которые после хранения в нормальных стандартных условиях испытываются на сжатие в возрасте 28 дней.

Отношение активности применявшегося портландцемента к прочности испытанного бетона должно быть не выше следующих значений:

$$\text{при } \frac{B}{Ц} = 0{,}50 - R_б \geqslant \frac{R_ц}{2{,}90},$$

$$\text{„ } \frac{B}{Ц} = 0{,}65 - R_б \geqslant \frac{R_ц}{3{,}70},$$

$$\text{„ } \frac{B}{Ц} = 0{,}80 - R_б \geqslant \frac{R_ц}{4{,}50}.$$

В дальнейшем должен быть выработан ускоренный метод определения прочности керамзитового гравия испытанием отдельных зерен.

V. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

§ 8. а) Приемка на заводе производится раздельно по фракциям и паспортам, составляемым на каждую готовую к отпуску партию в количестве 100 *м*³; б) паспорта составляются заводом и подписываются представителем завода; в) отбор проб производится применительно к пп. 7 и 8, разд. II, ГОСТ 2778-44; г) приемка заключается в наружном осмотре и лабораторных испытаниях. При наружном осмотре проверяется форма, целость и размеры зерен. Лабораторными испытаниями устанавливаются: а) объемный вес, б) влагоемкость предварительно высушенного при 110° образца, в) временное сопротивление сжатию, г) морозостойкость.

Объемный вес в насыпном виде и морозостойкость в бетонных кубиках определяются применительно к ГОСТ 2778-44, разд. III, 14, а. Водопоглощение — применительно к ГОСТ 530-41, разд. IV, § 24.

§ 9. Примеси органических веществ в керамзитовом гравии не допускаются.

VI. ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ, УПАКОВКИ И ПЕРЕВОЗКИ

§ 10. Готовые к сдаче партии керамзитового гравия на заводе-изготовителе и на заводе бетонных изделий должны храниться раздельно по маркам и фракциям на сухих площадках, защищенных от атмосферных осадков, загрязнения пылью и пр.

§ 11. Керамзитовый гравий перевозится навалом без упаковки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будников П. П., Керамическая технология, Космос, Харьков, 1927.

2. Будников П. П., Сборник научно-исследовательских работ, Промстройиздат, Москва, 1947.

3. Костырко Е. В. Текущие работы по новым строительным материалам. Сообщение Государственного института сооружений № 12, Москва, 1930.

4. Костырко Е. В., Керамзит. «Строительные материалы» № 2—3, 1931.

5. Сафронов И. П., Керамзит и технологический процесс его производства. Сборник ВИС № 1, Москва, 1932.

6. Щемелев П. П. и Гервидс И. А., Новый строительный материал — висмит. Информационный сборник ВИС № 1, Москва, 1932.

7. Пономарев И. Ф., Труды Сибирского института сооружений. Вып. 1. Новосибирск, 1933.

8. Щемелев П. П. и Гервидс И. А., Керамзит и его получение. Журнал «Строительные материалы» № 2, 1934.

9. Галкин П. И. и Адамова Ю. С., Вспучивание глин при высоких температурах. Сборник ВНИИСМ № 1, Москва, 1934.

10. Галкин П. И., Ланин М. А. и Носова З. А., Керамзит, характеристика глин, пригодных для его производства и их ресурсы. Сборник ВНИИСМ № 1, Москва, 1934.

11. Щемелев П. П., Искусственный гравий. Журнал «Строительные материалы» № 11, 1935.

12. Лагунов Г. Л., Искусственные легкие заполнители для бетонов. «Строительная промышленность» № 9, 1937.

13. Кауфман Б. Н. и Вдовьева В. С., Керамзит, Москва, 1937.

14. Попов Н. А., Новые виды легких бетонов, Москва, 1939.

15. Лагунов Г. А., Расторгуев Н. Д., Промышленное производство керамзита. «Промышленность строительных материалов» № 1, 1939.

16. Логинов С. П., Изготовление керамзитового гравия во вращающейся печи. «Керамика» № 3 и 5, 1939.

17. Логинов С. П., Перкаль З. И., Волпянский В. И., Слепченко И. И., Производство керамзитового гравия (хайдита) во вращающейся трубчатой печи. «Промышленность строительных материалов» № 1, 1940.

18. Лагунов Г. Л., Керамзит, его свойства и принципы технологии. Сборник «Новые методы производства легких заполнителей и вяжущих», Стройиздат, Москва, 1940.

19. Новопашин А. А., Керамзитовые блоки. «Промышленность строительных материалов» № 3, 1941.

20. Онацкий С. П., Керамзитовый гравий и принципы технологии его производства. Сборник «Материалы к IX сессии Академии архитектуры СССР», вып. II, изд. Академии архитектуры СССР, Москва, 1950.

21. Онацкий С. П., Некоторые вопросы теории производства керамзита. Сборник «Материалы и конструкции в современной архитектуре» № 5, изд. Академии архитектуры СССР, Москва, 1950.

22. Онацкий С. П., Буренков К. Е., Вспученные обжиговые материалы на базе глинистого сырья. Сборник «Материалы и конструкции в современной архитектуре» № 5, изд. Академии архитектуры СССР, Москва, 1950 г.

23. Онацкий С. П., Керамзит и его применение. Сборник материалов Московского научно-технического совещания по строительству, строительным материалам и проектно-изыскательским работам, т. II, изд. «Рабочая Москва», Москва, 1952.

294377

Научно-техническая библиотека

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр

Введение 3

Глава I. **Опыт получения керамзитового гравия во вращающейся печи** 7

1. Лабораторные исследования глин 7
2. Экспериментальное опробование глин на вспучивание . . . 10
3. Экспериментальные исследования в полузаводских условиях глин на вспучивание и изготовление опытных партий керамзита . 16
4. Основные свойства керамзита и керамзитобетона 38
5. Выводы 49

Глава II. **Лабораторные опыты вспучивания глин во влажном состоянии** 53

1. Цель исследований 53
2. Объекты исследований 54
3. Методика исследований 55
4. Результаты исследований 57
5. Причины появления трещин и разрушения полуфабриката при производстве керамзита 67

Заключение. **Некоторые вопросы рационализации технологии производства керамзита** 73

Приложение. **Временные технические условия на поставку керамзитового гравия для бетона в строительстве многоэтажных зданий в Москве** 77

Литература 79

Редактор издательства *М. П. Ростовцева*
Технический редактор *К. П. Воронин*

Подписано к печати 30/XII—1952 г. Бумага 60×92/16=2,5 бум.—5 печ. л. (4,89 уч.-изд. л.)
Изд. № VI-9714. Заказ 353. Тираж 3000 экз. Цена 3 р. 45 к.

3-я типография Государственного издательства литературы по строительству и архитектуре
Москва, Куйбышевский пр., 6/2.

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
5	21 сверху	парообразующей	порообразующей
5	8 снизу	контейнера	конвейера
23	19 сверху	$v = \frac{}{t}$,	$v = -\frac{l}{t}$,

С. П. Онацкий Заказ 353