

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

В.И.ТУРЧАНИНОВ

ТЕХНОЛОГИЯ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению «Строительство и архитектура», специализация «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»

Оренбург 2008

УДК 691.31+691.42(075.8)

ББК 35.41я73

Т 89

Рецензент

кандидат технических наук, доцент Л.В. Солдатенко

Турчанинов, В.И.

Т 89 Технология стеновых материалов: учебное пособие / В.И. Турчанинов. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – 207 с.

ISBN

В учебном пособии рассмотрены вопросы технологии производства строительных материалов, используемых при возведении стен промышленных и гражданских зданий, свойства этих материалов и способы их регулирования.

Учебное пособие предназначено для студентов направления 270000 «Строительство», специальность 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», по программам высшего профессионального образования.

Т 2803020000

ББК 35.41

ISBN

© Турчанинов В.И., 2008

© ГОУ ОГУ, 2008

Содержание

Введение	6
1 Классификация и эксплуатационные свойства стеновых изделий	12
1.1 Классификация	12
1.2 Общие требования к стеновым изделиям	13
1.3 Строительно-эксплуатационные свойства стеновых материалов и изделий	14
1.4 Основные понятия о теплопередаче	22
2 Основы глиноведения	24
2.1 Определение и происхождение глин	24
2.2 Состав глин	25
2.2.1 Вещественный состав	25
2.2.2 Минералогический состав	26
2.2.3 Химический состав	27
2.2.4 Гранулометрический состав глин	28
2.3 Свойства глин	30
2.3.1 Водные свойства глин	30
2.3.2 Механические свойства глин	34
2.3.3 Сушильные свойства глин	37
2.3.4 Термические свойства глин	42
3 Технология керамических стеновых материалов	50
3.1 Разновидности керамических стеновых материалов	50
3.2 Свойства керамических строительных материалов	51
3.3 Требования к сырью, применяемому для изготовления стеновых керамических изделий	54
3.3.1 Глины	55
3.3.2 Добавки	55
3.4 Технология керамических стеновых материалов, получаемых способом пластического формования	57
3.4.1 Добыча, транспортирование и складирование глины	57
3.4.1.1 Вскрышные работы	57
3.4.1.2 Добыча глины	58
3.4.1.3 Добыча глины в зимнее время	59
3.4.1.4 Транспортирование глины	60
3.4.1.5 Складирование глины	61
3.4.2 Обработка керамической массы	62
3.4.2.1 Естественная обработка глины	62
3.4.2.2 Механическая обработка глины	63
3.4.2.3 Физико-химические методы обработки глиняной массы	70
3.4.2.4 Подготовка добавок	71
3.4.3 Формование изделий из пластических керамических масс	72
3.4.4 Сушка керамических изделий пластического формования	79
3.4.4.1 Основы теории сушки сырца	79
3.4.4.2 Образования сушильных пороков	81

3.4.4.3 Режим сушки. Расчет безопасного режима сушки	84
3.4.4.4 Искусственные сушилки	85
3.4.5 Обжиг кирпича	87
3.4.5.1 Физико-химические основы процесса обжига изделий из легкоплавких глин.	88
3.4.5.2 Механизм образования керамического черепка	90
3.4.5.3 Влияние газовой среды на обжиг керамической массы	90
3.4.5.4 Режим обжига	91
3.4.5.5 Печи для обжига кирпича	92
3.5 Особенности технологии керамических стеновых материалов, получаемых способом полусухого прессования	96
3.5.1 Приготовление пресс-порошка	96
3.5.2 Прессование изделий	98
3.5.3 Сушка и обжиг сырца	102
3.6 Особенности технологии пустотелых керамических изделий.	103
3.7 Особенности производства лицевых керамических камней и кирпича	105
4 Технология силикатных стеновых материалов и изделий	110
4.1 Виды и свойства стеновых силикатных материалов и изделий	110
4.2 Свойства силикатного кирпича	111
4.3 Сырье для производства силикатного кирпича	115
4.3.1 Пески для силикатных изделий	115
4.3.2 Воздушная строительная известь	119
4.3.3 Промышленные отходы	119
4.4 Подготовка сырья	120
4.5 Подготовка вяжущего	122
4.6 Проектирование состава силикатной смеси	124
4.6.1 Проектирование состава силикатной смеси для получения сырца заданной прочности	124
4.6.2 Выбор вяжущего	126
4.6.3 Проектирование состава силикатной смеси для получения кирпича заданной прочности	128
4.6.4 Уточнение составов вяжущих и смесей из конкретных видов сырья	130
4.7 Приготовление силикатной смеси	132
4.7.1 Дозирование и предварительное смешение компонентов	132
4.7.2 Гашение извести	135
4.7.3 Обработка гашеной смеси	138
4.7.3.1 Методы воздействия на структуру и однородность массы	
4.8 Формование сырца	139
4.8.1 Влияние технологических факторов на прочность сырца	140
4.8.2 Влияние характера формования на прочность кирпича	145
4.8.3 Прессы для формования силикатного кирпича	147
4.8.4 Формование пустотелых кирпичей и камней	150
4.9 Автоклавная обработка сырца	151
4.9.1 Физико-химические процессы, протекающие при	

твердении силикатного кирпича	151
4.9.2 Оптимальные температуры и режимы запаривания силикатного кирпича	154
4.9.3 Оборудование для запаривания	155
4.10 Технология цветного силикатного кирпича	158
4.10.1 Пигменты и красители	159
4.10.2 Изменение окраски цветного кирпича	160
4.10.3 Технология силикатного кирпича объёмного окрашивания	161
4.10.3.1 Технологические схемы и их оценки	161
4.10.3.2 Дозирование пигмента	163
4.10.3.3 Формование и запаривание цветного сырца	163
5 Стеновые изделия из ячеистого бетона	164
5.1 Характеристики ячеистого бетона	167
5.2 Материалы	167
5.3 Номенклатура изделий и конструкций	168
5.4 История, состояние, перспективы развития изделий из ячеистых бетонов	170
5.5 Технология силикатных ячеистых материалов	172
5.5.1 Определение состава ячеисто-силикатной смеси	173
5.5.2 Приготовление формовочной смеси	174
5.5.3 Формование изделий	174
5.5.4 Защита арматуры от коррозии	178
5.5.5 Отделка поверхности изделий	179
5.5.6 Комплексы для изготовления блоков из ячеистых бетонов	180
6 Асбестоцементные стеновые изделия	183
6.1 Технология асбестоцементных изделий	183
6.1.1 Состав и приготовление сырьевых смесей	185
6.1.2 Формование и послеформовочная обработка изделий	186
6.2 Номенклатура асбестоцементных экструзионных панелей	187
7 Гипсобетонные блоки	188
7.1 Технология	188
7.1.1 Гомогенизация гипсового вяжущего	188
7.1.2 Дозирование и перемешивание	189
7.1.3 Формование	190
8 Грунтобетонные стеновые материалы	192
8.1 Технология грунтоблоков	193
8.1.1 Основные требования к сырью	193
8.1.1.2 Стабилизация грунта	194
8.1.3 Технологическая схема	195
8.1.4 Технические характеристики изделий, выпускаемых по технологии фирмы «Ситадоб»	198
9 Стеновые изделия из бетона	199
10 Арболит	201
11 Камни стеновые из горных пород	202
Список использованных источников	203

Введение

Технология стеновых материалов и изделий – дисциплина, излагающая основы производства изделий, используемых для возведения стен в жилищном, гражданском и промышленном строительстве. Это, как правило, малоразмерные изделия, из которых «выкладываются» стены. К ним относятся: керамический (глиняный) кирпич и камни; силикатный кирпич и камни; асбестоцементные стеновые панели; малоразмерные (мелкоштучные) камни из бетона, в том числе ячеистого; малоразмерные камни из горных пород; изделия из органического сырья (арболит, фибролит, камышит, соломит); грунтоцементные (грунтобетонные) изделия.

Использование малоразмерных изделий (стеновых материалов) позволяет расширить архитектурные возможности при возведении строительных объектов, чего не позволяет сделать применение крупноразмерных изделий – панелей. Широкое использование в предыдущие годы железобетонных изделий (сборного железобетона) не только ограничивало возможности архитектора, но и приводило к удорожанию строительства вследствие высоких затрат на исходные материалы (цемент, стальная арматура), энергоносители. Качество же железобетонных изделий вследствие низкой культуры производства, изношенности оборудования оставляет желать лучшего.

Наметившаяся в последние годы тенденция расширения индивидуального строительства также требует увеличения потребления и производства стеновых материалов.

Следует также отметить развитие жилищного и общественного монолитного домостроения, для которого характерно возведение жесткого железобетонного каркаса и использование стеновых материалов для изготовления наружных и внутренних самонесущих стен.

В настоящее время в России на отопление зданий расходуется около 20 % всех потребляемых энергоресурсов. Вновь построенные здания в средней полосе России требуют на отопление 1 м² площади в среднем около 500 кВт·ч, в то время как в Германии – 250, в Швеции и Финляндии – 135. На содержание 1 м² общей площади жилого здания в России тратится 84 кг условного топлива в год, а в Швеции 27 кг.

Требования к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций в России уступают среднеевропейским в 2-3 раза. Изменениями 3 СНиП II-3-79* [36] «Строительная теплотехника» предусмотрено повышение термического сопротивления ограждающих конструкций с 1996 г. в 1,7 раза, а с 2000 г. – в 3,5 раза. Для этого толщину стен из керамзитобетона со средней плотностью 950 кг/м³ следует увеличить с 390 мм до 500-700 мм, а из кирпича со средней плотностью 1500 кг/м³ с 510-640 мм до 1000-1200 мм, что с экономической точки зрения совершенно нереально. Поэтому необходимо изготавливать стеновые конструкции с использованием высокоэффективных и долговечных теплоизоляционных материалов. Наиболее целесообразно использование в конструкции стены пенопластов и волокнистых утеплителей.

Потребность в эффективных утеплителях только в жилищном строительстве к 2010 г. может составить 25-30 млн. м³, а на 2000 г. проектные мощности предприятий по производству всех видов утеплителей оценивались в 17-18 млн. м³ в год, фактические – 6 млн. м³. Из них 65 % - минераловатные изделия, около 20 % - пенопласты, 8 % - стекловатные изделия и лишь около 3 % - теплоизоляционные бетоны.

В России стеновые материалы производят около 5 тысяч предприятий. Выпуск эффективных стеновых материалов достигает 20 % общего выпуска.

Наиболее массовым видом стеновых материалов является керамический кирпич, общая доля которого в общем объеме стеновых материалов составляет 40 %. Использование керамического кирпича имело место в глубокой древности. Памятникам архитектуры древнего Египта насчитывается 12 тыс. лет. В строительстве использовали как обожженный, так и необожженный кирпич-сырец [12].

Из Библии можно узнать, что за 2000 лет до Рождества Христова, т.е. около 4000 лет тому назад евреи занимались изготовлением кирпича. (Исх. 1:14, 5:7-19). Но еще ранее лет на 200-500 до этих событий была предпринята попытка возвести Вавилонскую башню (Быт. 11:1-9 – «И сказали друг другу: наделаем кирпичей и обожжем огнем. И стали у них кирпичи вместо камней, а земляная смола вместо извести»).

Из кирпича возведен Колизей в Риме (1 век до Р.Х.), Пантеон (2 век по Р.Х.), Великая китайская стена (3 век до Р.Х.). При возведении последней использовали как обожженный кирпич, так и сырец. К древним векам относят остатки керамики найденные на Украине, в Туркмении. Стены Десятиной церкви в Киеве (10 век), Софийского собора и Золотые ворота выложены из обожженного кирпича размером 340x270x40 мм. С этого времени начинается широкое применение глиняного кирпича на Руси (11 век в Новгороде – собор св. Софии; Москва – 14-15 века). Использовали кирпич размерами: 300x140x90, 215x110x40, 270x110x70 мм.

В 1475 году в Москве построен кирпичный завод с напольными печами, имевшими постоянные своды. В 1550-1560 годах в Москве был построен храм Василия Блаженного, при возведении которого использовали обыкновенный и цветной кирпич, черепицу. В это же время началось производство прокрытых глухими глазурями изразцов из кирпичных глин.

В 16-18 веках наблюдалось совершенствование конструкций печей и увеличение их размеров. Появляются первые глиномялки и кирпичеделательные станки. Формование кирпича осуществлялось на столе с уколачиванием глины колотушками. Внедряется искусственная сушка кирпича.

В 18 веке на Руси начинается производство фарфора, а в 1752 году Ломоносовым М.В. была сформулирована теория образования керамического черепка.

В 19 веке построены кирпичные заводы в Москве, Петербурге, Харьковской и Киевской губерниях. Производство кирпича в 1854 году составило 126 млн. шт. кирпича. Но производство носило полукустарный характер и было сезонным (сезон длился около 100 дней). На сезонных заводах

летом проводили формовку и сушку кирпича, а зимой обжиг. Преимущественно использовались напольные печи. На немногих заводах (Москва) использовали кольцевые печи. Преимущественно использовался ручной труд, но качество кирпича было высокое.

Объем производства кирпича в 1913 году составил 2,15 млрд. шт.

После октябрьской революции к концу 20-х годов было построено значительное количество заводов как сезонного, так и круглогодичного действия. Повысилась степень механизации производства. Началось производство и внедрение дробильно-помольных агрегатов, глиномялок, прессов, искусственных сушилок, модернизировались кольцевые печи.

В 30-е годы появились первые механизированные кирпичные заводы, в том числе заводы по производству кирпича полусухого прессования, осваивалось производство пустотелой керамики. Созданы ряд специализированных НИИ и проектных организаций. Производство кирпича составило, млрд. шт.: 1930 г. – 4,13; 1935 г. – 6,0; 1940 г. – 8,67.

Очень интенсивное развитие керамической промышленности в стране отмечалось после Великой отечественной войны. В 1949 году был достигнут довоенный уровень, а в 1960 г. он был превзойден в 2 раза. Внедряются прогрессивные технологии: вакуумирование и пароувлажнение керамической массы: широко внедряются туннельные печи. Увеличивается выпуск эффективных, т.е. пустотелых и крупноразмерных керамических стеновых материалов. Строятся заводы по производству керамического кирпича производительностью 200 млн. шт. в год.

В 80-е годы построены кирпичные заводы-автоматы (Ленинград, Москва, Челябинск – Круглянский), где все процессы, начиная от добычи сырья и кончая подачей сырца в сушилку, выполняются агрегатами с автоматическим управлением. Подобный завод производительностью 75 млн. шт. усл. кирпича в год построен и в Оренбурге. Внедряется однорядная садка кирпича на сушильные и обжиговые вагонетки, т.к. только такая садка позволяет автоматизировать процесс укладки кирпича при помощи сравнительно простых устройств. Объединяются процессы сушки и обжига в одном агрегате – печи-сушилке.

В последние годы внедряются радиационные сушилки, роликовые туннельные сушилки и печи.

Поскольку качество кирпича, обжигаемого в туннельных печах, вследствие неоднородности теплового потока по сечению печи ниже, чем у кольцевых и высока металлоемкость туннельных печей, то в последнее время вновь расширяется использование кольцевых печей, но уже более совершенной конструкции – со съемным сводом.

Следует отметить также тенденцию строительства кирпичных заводов малой мощности – мини-заводов, производительностью от 5 до 15 млн. шт. усл. кирпича в год. Это позволяет снизить расходы на транспортирование сырья и готовой продукции вследствие сокращения расстояния перевозки. К тому же строительство мини-заводов возможно вблизи маломощных месторождений

кирпичных глин, которые имеются практически повсеместно. К тому же капитальные затраты на строительство таких заводов снижаются.

Производство керамического кирпича уже в 1978 году превысило 30 млрд. шт. усл. кирпича. С 1996 года и по настоящее время производство стеновых материалов (керамический и силикатный кирпич) составляет около 10 млрд. шт. усл. кирпича. Однако на многих заводах эксплуатируется устаревшее глиноперерабатывающее и формовочное оборудование. Значительное количество кирпича подвергается сушке в камерных сушилках устаревшей конструкции, не позволяющих регулировать процесс сушки. В туннельных печах обжигалось в 1978 году лишь 41 % кирпича, остальной обжигался в кольцевых печах.

Основными направлениями развития производства керамического кирпича являются:

- 1) увеличение производства пустотелого кирпича и камней (в 1978 году производилось лишь 14 %);
- 2) увеличение производства лицевого кирпича (в 1978 году производилось лишь 2 %).

К эффективным керамическим материалам относят не все виды пустотелых кирпичей и камней, а лишь те, которые по своим теплотехническим свойствам позволяют уменьшить толщину стены при сохранении ими всех свойств, присущих стенам из полнотелого кирпича.

Производство силикатных стеновых изделий началось значительно позже, чем керамического. Так в России первые заводы по выпуску силикатного кирпича начали строить в 1890 г. В 1914 г. на них выпускали 154 млн. шт. усл. кирпича; к концу 20-х годов прошлого столетия выпуск кирпича достиг 400 млн. шт. усл. кирпича в год, а в 1940 г. достиг 1 млрд. шт. усл. кирпича. На 1978 г. в стране действовало более 140 предприятий и цехов по производству силикатного кирпича, объем производства достигал 14,6 млрд. шт. усл. кирпича.

Расширению производства силикатного кирпича способствует недефицитность сырья, хорошая прочность и морозостойкость кирпича, короткий цикл производства, относительно небольшие удельные капиталовложения, более низкая в сравнении с керамическим себестоимость.

Повышению технико-экономических показателей способствует интенсификация технологического процесса, механизация трудоемких операций, автоматизация отдельных линий и переделов, расширение ассортимента и качества силикатного кирпича. Так внедрение парового прогрева силикатной смеси сокращает сроки её выдерживания в 2-3 раза. Повышение давления пара в автоклавах до 1,0-1,2 и 1,6 МПа и тонкий размол вяжущего позволяют сократить цикл запаривания на 20-30 %.

Основными задачами совершенствования и развития промышленности силикатных материалов являются:

- 1) использование отходов промышленности (золы, шлаки, хвосты обогащения руд и т.д.);
- 2) производство пустотелых кирпича и камней;

3) внедрение прогрессивного оборудования – гасильные реакторы непрерывного действия, быстроходные двухвальные смесители для первичного смешения компонентов и стержневые для обработки гашеной массы перетиранием, автоматы для съёма и укладки сырца.

К автоклавным силикатным материалам следует отнести и стеновые камни из газо- и пенобетона, производство которых в последние годы непрерывно расширяется вследствие высоких технико-экономических показателей их использования.

В последние 10-15 лет в стране наметилась тенденция расширения производства асбестоцементных изделий, в том числе ограждающих стеновых панелей, плит перекрытия. Этому способствует то обстоятельство, что асбестоцемент благодаря мелкодисперсному армированию цементного камня тонкими и прочными волокнами асбеста обладает ценными физико-техническими свойствами: высокая прочность при растяжении и изгибе, легкость, высокая морозостойкость, атмосферо- и химическая стойкость. Асбестоцементные массы легко перерабатываются и позволяют получать изделия достаточно сложной конфигурации.

Производство асбестоцементных панелей способом экструзии организовано на Воскресенском опытно-производственном предприятии НПО «Асбестоцемент» ещё в 1980 г. Размеры панелей, мм:

- длина – до 6000;
- ширина – 600;
- толщина – 60-180.

Панели изготовляют с внутренними продольными пустотами, в которые для улучшения теплоизоляционных свойств укладывается минераловатный либо другой утеплитель. Производство асбестоцементных панелей способом экструзии позволяет использовать в составе асбестоцементной смеси асбест низких сортов (пятого и шестого), резко сократить расход технологической воды.

Широкое применение в малоэтажном индивидуальном строительстве в последние годы получили стеновые камни из бетона (тяжелого и легкого) размером 190x188x390 мм. Камни изготовляют как сплошные, так и пустотелые. Изготовление камней осуществляется как на простейших приспособлениях (форма, разбитая на ряд ячеек), так и на специальных установках, в ряде случаев достаточно сложных и входящих в технологические комплексы с высоким уровнем механизации и автоматизации.

Большое распространение подобные формовочные комплексы получили как в нашей стране, так и за рубежом, где производство стеновых камней осуществляется на специализированных мини-заводах производительностью до 220 тыс. шт. изделий в неделю (около 11,5 млн. шт. усл. кирпича в год).

В районах, располагающих запасами пористых горных пород (известняк-ракушечник, туф, пемза), осуществляется изготовление стеновых камней непосредственно из горных пород путем их выпиливания механическими пилами из крупных блоков, предварительно отделенных от массива.

При возведении стен также используют гипсобетонные блоки как сплошной, так и пористой структуры. Изделия изготавливают широкого диапазона размеров. Размер изделий, изготавливаемых на карусельных установках: 800x400x100 мм и 800x400x800 мм.

С конца 80-х годов прошлого столетия началось производство грунтобетонных стеновых изделий (грунтоблоков). Грунтобетоном называют строительный материал (бетон), в качестве связующего в котором используется природный грунт, чаще всего представленный суглинком (содержит 12-25 % частиц менее 0,005 мм – глинистых минералов).

Причем наметилось три направления формования грунтоблоков:

- 1) формование непосредственно из грунтов с отощающими добавками;
- 2) формование из грунтов с отощающими добавками при введении в формовочную смесь некоторого количества цемента (6-10 %) или извести (2 %);
- 3) формование блоков из грунтов с отощающими добавками и последующим высокотемпературным обжигом.

В последнее время предпочтение отдается второму направлению.

1 Классификация и эксплуатационные свойства стеновых изделий

1.1 Классификация

Классификация стеновых материалов проводится по виду изделий, назначению, виду применяемого сырья, способу изготовления, средней плотности, теплопроводности, прочности при сжатии и другим признакам [4].

По виду изделий различают: кирпич одинарный 250x120x65 мм и утолщенный 250x120x88 мм; камни 250x120x140 мм; стеновые камни полномерные 390x190x188; 490x240x188; 390x190x288 мм; дополнительные (три четверти 292x190x188; 367x240x188; 292x190x298 мм); половинки 195x190x188; 245x240x188; 195x190x288 мм; мелкие блоки (массой до 40 кг); крупные блоки (массой до 3 т и толщиной 40-60 см); панели (однослойные толщиной 20-40 см); многослойные (толщиной 15-30 см). Длина панелей – 6, 3, 1,5 и 0,75 м; высота кратна 0,6 м и обычно составляет 1,2 и 1,8 м.

По назначению: наружные и внутренние стены, перегородки.

По виду применяемого сырья: минеральные (кирпич, газобетонные изделия и др.); органические (стеновые конструкции из древесины); органо-минеральные (стеновые изделия из арболита, древесно- и лигноминеральные камни).

По способу изготовления: получаемые методом литья, пластического формования, полусухого прессования, вибрирования, выпиливания из горных пород, сборки стеновых конструкций.

По способу твердения: безобжиговые, подразделяющиеся на материалы, твердеющие в нормальных условиях, при повышенной температуре, при повышенной температуре и давлении (арболит, бетоны на пористых заполнителях, ячеистые бетоны, силикатный кирпич др.); обжиговые - кирпич и камни керамические.

По величине средней плотности: особо легкие - величина средней плотности - до 500; легкие – 500-1300; облегченные – 1300-1600 кг/м³.

По теплопроводности: низкой теплопроводности с величиной теплопроводности до 0,06; средней - до 0,18; высокой - более 0,21 Вт/(м °С).

По прочности на сжатие (марка): каменные стеновые материалы различают высокой, средней и низкой прочности (таблица 1).

По огнестойкости: негорючие (не воспламеняются, не тлеют, не обугливаются); трудногорючие (воспламеняются, тлеют, продолжают гореть при наличии пламени); горючие (воспламеняются, тлеют и горят после удаления огня).

По способу возведения: сборные и монолитные.

По конструкции: однослойные и многослойные.

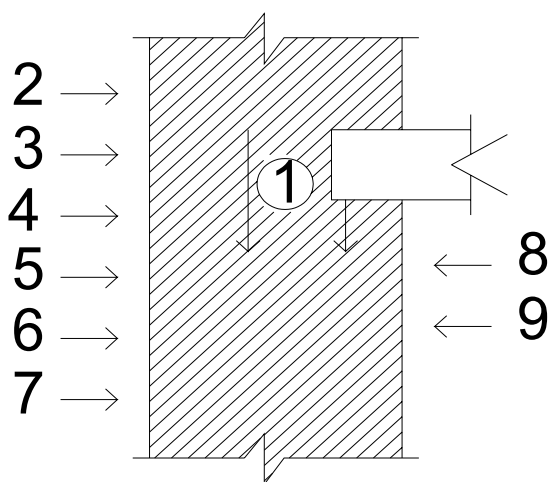
По характеру восприятия статической нагрузки: несущие, самонесущие, ненесущие.

Таблица 1 - Марки стеновых каменных материалов

Изделия	Марка (предел прочности при сжатии, в кгс/см ²)		
	высокая	средняя	низкая
Керамический кирпич полнотелый	300, 250, 200	150, 125	100, 75
Кирпич и камни керамические, силикатные пустотелые	250, 200, 150	125, 100	75
Камни и блоки мелкие бетонные	250, 200, 150, 100	75, 50	35, 25
Блоки мелкие: - из ячеистого бетона	200, 150, 100	75, 50	
- из горных пород	400, 300, 250	150, 125, 100, 75	4, 7, 10, 15, 25, 35, 50

1.2 Общие требования к стеновым изделиям

Наружные несущие стены - наиболее сложная конструкция здания. Они подвергаются многочисленным и разнообразным силовым и природным воздействиям (рисунок 1).



1, 2 - вертикальные и горизонтальные силовые воздействия; 3, 4 - изменение температуры и влажности наружного воздуха; 5 - солнечная инсоляция; 6 - звуковые воздействия; 7 - тепловой поток; 8 - диффузия водяного пара; 9 - тепловой поток.

Рисунок 1 - Основные воздействия на конструкцию наружной стены

Выполняя несколько основных функций (теплоизоляционную, звукоизоляционную, несущую), стена также должна отвечать требованиям по долговечности, огнестойкости, обеспечивать благоприятный температурно-влажностный режим, обладать декоративными качествами, защищать помещения от неблагоприятных внешних воздействий. Одновременно она должна удовлетворять общетехническим требованиям минимальной материалоемкости, а также экономическим условиям.

Строительные материалы и минеральное сырье для их производства должны подвергаться радиационной оценке. По нормам радиационной безопасности НРБ-76/87 и основным санитарным правилам ОСП-72/87 для смеси радионуклидов радия Ra -226, тория Th-232 и калия K-40 с удельной активностью С (пКи/г) должно выполняться условие

$$(C_{Ra} + 1,31 C_{Th} + 0,085 C_{K-40}) < 10 \quad (1)$$

При выполнении этого условия по показателю радиационного фактора стеновые материалы и изделия допускается использовать для строительства жилых и общественных зданий. На каждый вид или группу стеновых материалов утверждены государственные стандарты или технические условия, в которых отражены требования, предъявляемые к ним и методы их испытания.

1.3 Строительно-эксплуатационные свойства стеновых материалов и изделий

Средняя плотность ρ_m , кг/м³ - физическая величина, определяемая отношением массы материала ко всему занимаемому им объему, включая имеющиеся в нем поры и пустоты

$$\rho_m = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

где m - масса материала в сухом состоянии, кг;
 V - объем материала в сухом состоянии, м³.

Величина средней плотности изменяется в зависимости от пористости и влажности материала и используется для расчета его пористости, теплопроводности, теплоемкости. Для стеновых материалов и изделий желательна наименьшая величина средней плотности при требуемой прочности. Показатель средней плотности составляет, в кг/м³: для изделий стеновой керамики 1400-1800; легких бетонов на пористых заполнителях – 950-1400; поризованной керамики и ячеистых бетонов – 400-800; древесно- и лигноминеральных изделий - 1000-1400.

Для сыпучих материалов (вспученный перлит и вермикулит, керамзит, аглопорит, топливный шлак и др.), применяемых для теплоизоляционных засыпок, величина насыпной плотности составляет 250 - 800 кг/м³.

Пористость - степень заполнения объема материала порами P , %

$$P = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100, \quad (3)$$

где ρ и ρ_m - соответственно истинная и средняя плотность, кг/м³.

Величина общей пористости для наиболее распространенных стеновых материалов составляет, в %: силикатный кирпич – 10-15; керамический кирпич – 25-35; легкие бетоны – 55-85. Для стеновых материалов, с целью обеспечения необходимых теплоизоляционных свойств, рекомендуются замкнутые мелкие поры, равномерно распределенные по всему объему материала. От характера пор также зависит морозостойкость изделий.

Пустотность P_v , % - степень заполнения объема материала пустотами. Пустоты (воздушные прослойки) в структуре стеновых материалов создаются как технологическими, так и конструкторскими способами. Объем пустот колеблется в пределах, в %: пустотелый керамический кирпич - 13-33; керамические камни – 25-40; силикатный кирпич – 20-40; стеновые камни из бетона – 25-30; крупнопористый бетон – 40-60.

Влажность материала определяется содержанием влаги, отнесенной к массе материала в сухом состоянии. Влажность материала зависит как от свойств самого материала (пористости, гигроскопичности), так и от окружающей среды (влажности воздуха, наличия контакта с водой). Для стеновых материалов показатель отпускной влажности составляет, в %: для пено- и газобетона - 15-35; арболита – 20-35; керамзитобетона – 15-18, древесноминеральных блоков – 7-8.

Гигроскопичность - свойство пористых материалов поглощать определенное количество воды при повышении влажности окружающего воздуха. Гигроскопическая влажность составляет, в %: древесина - 12-18; ячеистые бетоны - до 20; арболит - 10-15; керамические стеновые материалы – 5-7.

Капиллярное увлажнение - способность материалов поглощать влагу в результате подъема ее по капиллярам. Высота подъема воды по пористому материалу определяется по формуле [4]

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{r \cdot g \cdot \rho} \quad (4)$$

где σ - поверхностное натяжение воды;

φ - краевой угол смачивания;

r - радиус капилляра;

ρ - плотность воды (жидкости);
 g - ускорение свободного падения.

Возможность увлажнения за счет капиллярного всасывания необходимо учитывать при эксплуатации стеновых изделий, особенно в цокольной части зданий. Капиллярное увлажнение уменьшают или предотвращают устройством гидроизоляционного слоя между фундаментом и стеновой конструкцией, а также гидрофобизацией последней.

Влагоотдача - свойство материала отдавать влагу окружающему воздуху. Характеризуется количеством воды, теряемой материалом в сутки при относительной влажности окружающего воздуха 60 % и температуре 20 °С.

Величина влагоотдачи имеет большое значение для стеновых панелей и блоков, мокрой штукатурки стен, которые в процессе возведения здания обычно имеют повышенную влажность, а в обычных условиях благодаря влагоотдаче высыхают до воздушно-сухого состояния (равновесная влажность).

Газобетонные стеновые изделия активно поглощают влагу и плохо отдают, в то время как арболитовые изделия быстро высыхают. Например, отпускная влажность ячеистого бетона колеблется в пределах 15-35 % по массе; её величина через 1,5-2 года эксплуатации в нормальных условиях составляет 6-10 %. Арболитовые изделия в течение летнего периода снижают влажность (высыхают) с 20-25 до 4-6 %. В стеновых ограждениях из легкого бетона на пористых заполнителях равновесная влажность (4-7 %) устанавливается уже через 0,5-1 год.

Водостойкость - свойство материала в условиях полного водонасыщения сохранять свои прочностные свойства. Водостойкость характеризуется коэффициентом размягчения

$$K_p = \frac{R_H}{R_C}, \quad (5)$$

где R_C и R_H - прочность при сжатии материала соответственно в сухом и водонасыщенном состоянии, МПа.

Стеновой материал считается водостойким при $K_p > 0,8$. Если этот показатель у материала менее 0,8, то его нельзя применять в условиях с повышенной влажностью.

Морозостойкость - свойство насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности. Особенностью испытания на морозостойкость материалов, применяемых для наружных стен, является то, что помимо испытания при объемном замораживании производят одностороннее замораживание фрагмента стены, выполненного из испытуемого материала. Замораживание образцов в морозильной камере производят в теплоизолирующей кассете, позволяющей отводить тепло только со стороны образцов.

Порядок испытания следующий. Образцы насыщают и устанавливают в теплоизолирующую кассету, которую помещают в морозильную камеру. Продолжительность одного замораживания 8 час. Затем образцы подвергают оттаиванию и цикл испытания повторяют. Образцы, установленные в кассете тычком, разрезают на две равные части перпендикулярно направлению потока тепла при замораживании.

Основными являются половинки образцов, подвергавшиеся воздействию отрицательной температуры, а контрольными - не подвергавшиеся воздействию отрицательной температуры. Обработка результатов испытания аналогична обработке результатов при объемном испытании на морозостойкость.

По морозостойкости стеновые материалы подразделяются на марки F15, F25, F35, F50. Минимально допустимая марка для рядовых стеновых материалов - F15, для лицевых - F25.

Паро- и газопроницаемость - свойство материала пропускать через свою толщину водяной пар или газы (воздух) при возникновении разности давлений на его противоположных поверхностях. Паро- или газопроницаемость материала характеризуется коэффициентом паро- и газопроницаемости K_r , кг/(м·ч·Па), численно равному количеству пара или газа в литрах, проходящего через слой материала толщиной 1 м и площадью 1 м² в течение 1 ч при разности парциальных давлений на противоположных стенках равной 133,3 Па.

$$K_r = \frac{a \cdot V_p}{S \cdot t \cdot \Delta p}, \quad (6)$$

где a - толщина, м;

V_p - масса газа плотностью ρ , кг;

S - площадь, м²;

t - время, ч;

Δp - разность давлений, Па.

Коэффициент газопроницаемости составляет: для цементно-песчаной штукатурки - 0,02; керамического кирпича - 0,35; высокопористых материалов - 10 кг/(м·ч·Па).

Стеновые материалы должны обладать определенной проницаемостью, тогда стена будет "дышать", т.е. будет происходить естественная вентиляция. В зимний период перемещение и кондиционирование пара происходит от участка повышенной влажности к наименьшей, тем самым создаются условия разрушения. Паропроницаемые материалы должны располагаться с той стороны ограждения, с которой содержание водяного пара в воздухе выше. Особенно ответственно следует относиться к проектированию наружных стен отапливаемых зданий и выбору материалов для их отделки в условиях сурового климата.

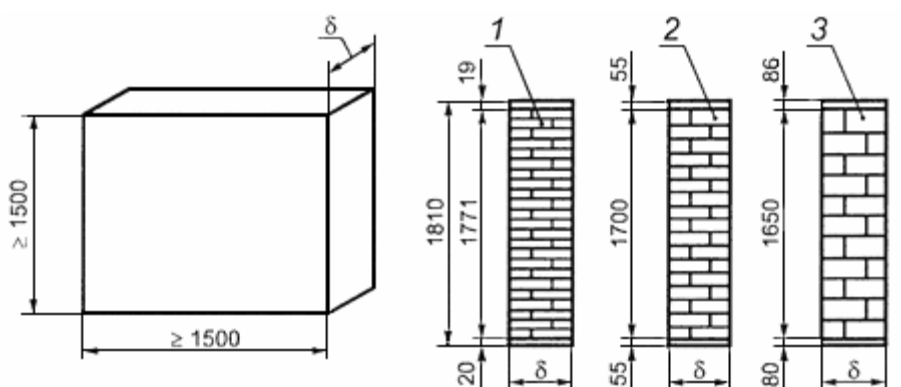
Теплопроводность - свойство стенового материала передавать через свою толщину тепловой поток при наличии разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Теплопроводность определяется экспериментальным способом по ГОСТ 26254-84 [35] путем регистрации потока, проходящего через материал, и расчета теплопроводности по формуле

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{S \cdot \tau \cdot \Delta T}, \quad (7)$$

где Q - количество теплоты, Дж;
 δ - толщина образца материала, м;
 S - площадь образца, м²;
 τ - время прохождения теплового потока, ч;
 ΔT - разность температур на противоположных поверхностях материала, °С.

Теплопроводность выражают в Вт/(м °С).

Определение теплопроводности керамического кирпича в кладке производится согласно ГОСТ 530-2007 на фрагменте стены размером по длине и высоте не менее 1500x1500 мм.



а) Общий вид кладки

б) Примеры кладок в поперечном сечении:

1 - кладка из одинарного кирпича;

2 - кладка из утолщенного кирпича;

3 - кладка из камня;

δ - толщина кладки

Рисунок 2 – Схема кирпичной кладки

Фрагмент кладки с учетом растворных швов выполняют толщиной из одного тычкового и одного ложкового рядов кирпичей или камней. Кладку из укрупненных камней выполняют в один камень. Длина и высота кладки должны быть не менее 1,5 м. Кладку выполняют на сложном растворе марки

50, средней плотностью 1800 кг/м^3 , состава 1,0:0,9:8,0 (цемент:известь:песок) по объему, на портландцементе марки 400, с осадкой конуса для полнотелых изделий 12-13 см, для пустотелых - 9 см. Допускается выполнение фрагмента кладки, отличной от указанной выше, с применением других растворов, состав которых указывают в протоколе испытаний.

Фрагмент кладки из изделий со сквозными пустотами следует выполнять по технологии, исключающей заполнение пустот кладочным раствором или с заполнением пустот раствором, о чем делается запись в протоколе испытаний. Кладку выполняют в проеме климатической камеры с устройством по контуру теплоизоляции из плитного утеплителя; термическое сопротивление теплоизоляции должно быть не менее $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. После изготовления фрагмента кладки его наружную и внутреннюю поверхности затирают штукатурным раствором толщиной не более 5 мм и плотностью, соответствующей плотности испытуемых изделий, но не более 1400 и не менее 800 кг/м^3 .

Фрагмент кладки испытывают в два этапа:

- этап 1 - кладку выдерживают и подсушивают в течение не менее двух недель до влажности не более 6 %;

- этап 2 - проводят дополнительную сушку кладки до влажности 1 – 3 %.

Влажность изделий в кладке определяют приборами неразрушающего контроля. Испытания в камере проводят при перепаде температур между внутренней и наружной поверхностями кладки $\Delta t = (t_B - t_H) \geq 40 \text{ °C}$, температуре в теплой зоне камеры $t_B = 18 \text{ °C} - 20 \text{ °C}$, относительной влажности воздуха $(40 \pm 5) \%$. Допускается сокращение времени выдержки кладки при условии обдува наружной поверхности и обогрева внутренней поверхности фрагмента трубчатыми электронагревателями (ТЭНами), софитами и др. до температуры 35 - 40 °C.

Перед испытанием на наружной и внутренней поверхностях кладки в центральной зоне устанавливают не менее пяти термопар по действующему нормативному документу. Дополнительно на внутренней поверхности кладки устанавливают тепломеры по действующему нормативному документу. Термопары и тепломеры устанавливают так, чтобы они охватывали зоны поверхности ложкового и тычкового рядов кладки, а также горизонтального и вертикального растворных швов. Теплотехнические параметры фиксируют после наступления стационарного теплового состояния кладки не ранее чем через 72 ч после включения климатической камеры. Измерение параметров проводят не менее трех раз с интервалом в 2-3 ч.

Для каждого тепломера и термопары определяют среднеарифметическое значение показаний за период наблюдений q_i и t_i . По результатам испытаний вычисляют средневзвешенные значения температуры наружной и внутренней поверхностей кладки t_H^{CP} , t_B^{CP} с учетом площади ложкового и тычкового измеряемых участков, а также вертикального и горизонтального участков растворных швов по формуле

$$t_{\text{н(в)}}^{\text{ср}} = (\sum t_i F_i) / (\sum F_i), \quad (8)$$

где t_i - температура поверхности в точке i , °C;

F_i - площадь i -го участка, м².

По результатам испытаний определяют термическое сопротивление кладки $R_K^{\text{ип}}$, м²·°C/Вт, с учетом фактической влажности во время испытаний по формуле

$$R_K^{\text{ип}} = \Delta t / q_{\text{ср}}, \quad (9)$$

где $\Delta t = t_{\text{в}}^{\text{ср}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}$, °C;

$q_{\text{ср}}$ - среднее значение плотности теплового потока через испытываемый фрагмент кладки, Вт/м².

По значению $R_K^{\text{ип}}$ вычисляют эквивалентный коэффициент теплопроводности кладки $\lambda_{\text{эКВ}}(\omega)$, Вт/(м·°C), по формуле

$$\lambda_{\text{эКВ}}(\omega) = \delta / R_K^{\text{ип}}, \quad (10)$$

где δ - толщина кладки, м.

Строят график зависимости эквивалентного коэффициента теплопроводности от влажности кладки (смотри рисунок 3) и определяют изменение значения $\lambda_{\text{эКВ}}$ на один процент влажности $\Delta\lambda_{\text{эКВ}}$, Вт/(м·°C), по формуле

$$\Delta\lambda_{\text{эКВ}} = (\lambda_{\text{эКВ1}} - \lambda_{\text{эКВ2}}) / (\omega_1 - \omega_2). \quad (11)$$

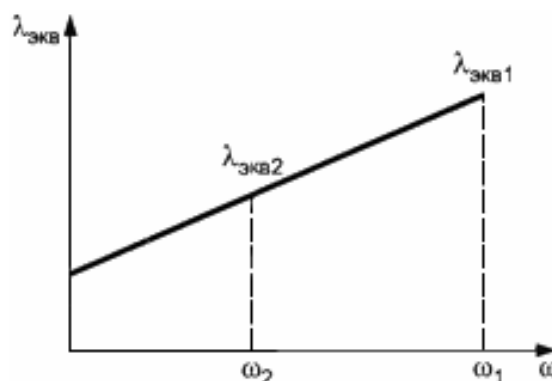


Рисунок 3 - График зависимости эквивалентного коэффициента теплопроводности от влажности кладки

Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии λ_0 , Вт/(м·°С), вычисляют по формуле

$$\lambda_0^{\parallel} = \lambda_{\text{ЭКВ}2} - \omega_2 \cdot \Delta\lambda_{\text{ЭКВ}} \quad \text{или} \quad (12)$$

$$\lambda_0^{\perp} = \lambda_{\text{ЭКВ}1} - \omega_1 \cdot \Delta\lambda_{\text{ЭКВ}}. \quad (13)$$

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение коэффициента теплопроводности кладки в сухом состоянии λ_0 , Вт/(м·°С), вычисленное по формуле

$$\lambda_0 = (\lambda_0^{\perp} + \lambda_0^{\parallel}) / 2 \quad (14)$$

При требуемой прочности стеновых материалов желательна их наименьшая теплопроводность. Теплопроводность возрастает при повышении средней плотности, влажности и увеличения размера пор.

Теплоемкость - свойство материала поглощать при нагревании определенное количество тепла и выделять его при охлаждении. Теплоемкость измеряется в кДж/(кг·°С). Удельная теплоемкость составляет, в кДж/(кг·°С): для каменных материалов (кирпича, бетона) 0,75-0,92; древесины – 2,4-2,7; воды - 4,19.

Теплоемкость материалов учитывают при расчетах теплоустойчивости стен в отапливаемых зданиях. Для этих целей желательно применение материалов с более высоким показателем теплоемкости.

Прочность - способность материала сопротивляться разрушению под воздействием внешних сил, вызывающих в нем внутренние напряжения. Предел прочности измеряется в паскалях (Па) или мегапаскалях (МПа). При эксплуатации стеновые конструкции в основном подвергаются действию сжимающих и изгибающих (растягивающих) нагрузок.

Пределы прочности стеновых материалов при сжатии и изгибе определяют по ГОСТ 8462-85. Для несущих стен прочность является определяющим свойством, для самонесущих и несущих стен показатель прочности можно отнести к категории достаточно необходимого. Прочность при сжатии некоторых стеновых материалов, по которой устанавливается их марка, составляет, в МПа: для керамического и силикатного кирпича 7,5-30; керамзитобетона - 7,5-15; ячеистого бетона – 2,5-7,0; древесины вдоль волокон – 30-65; арболита - 2,5-3,5; древесно- и лигноминеральных камней - 2,5-7,5.

Основной задачей материаловедов и технологов при создании новых и повышении эффективности традиционно применяемых стеновых

материалов и изделий является снижение величины средней плотности, теплопроводности при сохранении их требуемой прочности.

1.4 Основные понятия о теплопередаче

Тепло может передаваться разными способами: теплопроводностью, конвекцией, излучением.

В чистом виде *теплопроводность* наблюдается только в сплошных твердых телах. Тепло передается непосредственно через материал или от одного материала к другому при их соприкосновении. Высокой теплопроводностью обладают плотные материалы - металл, железобетон, мрамор. Воздух имеет низкую теплопроводность, поэтому через материалы с большим количеством воздушных замкнутых пор, тепло передается плохо и они могут использоваться как теплоизоляционные (пустотелый кирпич и камни керамические, изделия из газо- и пенобетона, пено- и газокерамика, поропласты и др.).

Конвекция характерна для жидких и газообразных сред, где перенос тепла происходит в результате движения молекул. Конвективный теплообмен наблюдается у поверхности стен при наличии температурного перепада между конструкцией и соприкасающимся с ней воздухом. В окнах жилых домов конвективный теплообмен происходит между поверхностями остекления, обращенными внутрь воздушной прослойки. Нагреваясь от внутреннего стекла, теплый воздух поднимается вверх. При соприкосновении с холодным наружным стеклом воздух отдает свое тепло и, охлаждаясь, опускается вниз. Такая циркуляция воздуха в воздушной прослойке обуславливает конвективный теплообмен. Чем больше разность температур поверхностей, тем интенсивнее теплообмен между ними.

Излучение происходит в газообразной среде путем передачи тепла с поверхности тела через пространство (в виде энергии электромагнитных волн).

Нагретая поверхность радиатора излучает тепло и обогревает помещение. Чем выше температура поверхности отопительного прибора, тем сильнее обогревается помещение.

Все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля, получают тепло, которое частично отражается, частично поглощается. Если вся падающая на тело лучистая энергия отражается, то такое тело называется абсолютно белым. Если вся падающая энергия поглощается, то тело называется абсолютно черным.

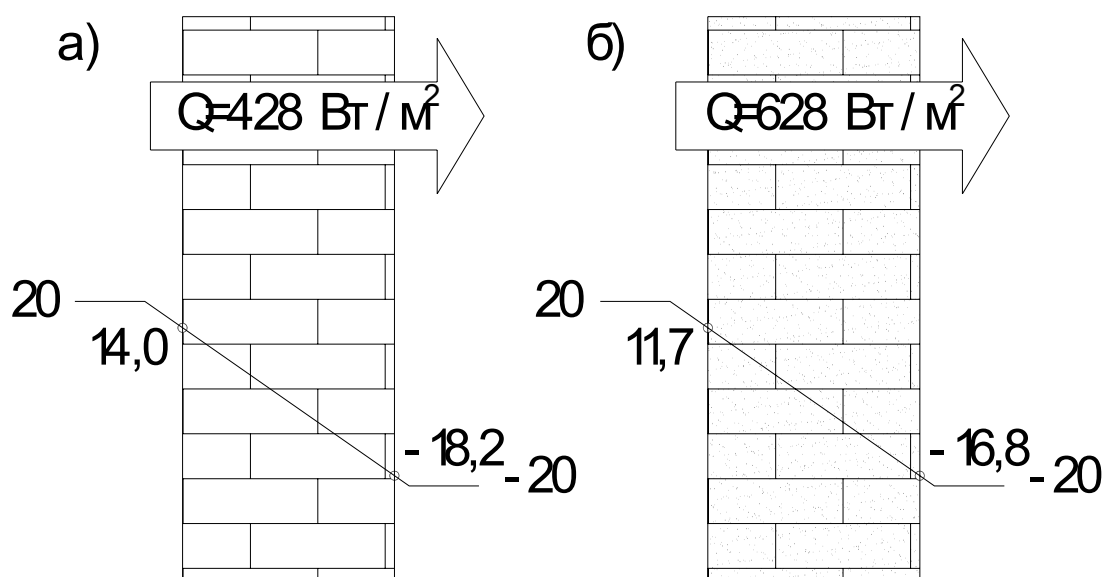
Строительные материалы частично отражают и до 90 % поглощают лучистой энергии. Светлая и гладкая поверхность отражает большую часть падающей энергии. Чем темнее и шершавее поверхность тела, тем больше энергии она поглощает. Поглощенная телом лучистая энергия превращается в тепловую и вызывает повышение температуры.

Передача тепла через стены осуществляется, главным образом, теплопроводностью. Количество тепла, проходящего через стену, зависит от

теплопроводности материала. Чем она выше, тем активнее тепловой поток проходит через материал и тем хуже его теплозащита.

Плотный материал имеет большую теплопроводность по сравнению с пористыми. Например, у железобетона средней плотностью 2500 кг/м^3 теплопроводность составляет $2,04 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$, у кладки из полнотелого керамического кирпича средней плотностью 1800 кг/м^3 - $0,81 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$, у стеновых блоков из ячеистых бетонов средней плотностью 600 кг/м^3 - $0,22 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$, у плит из поропласта средней плотностью 100 кг/м^3 - $0,05 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$, для сравнения, у воздуха - $0,025 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$.

При повышении влажности материала повышается его теплопроводность, т.к. теплопроводность воды приблизительно в 20 раз больше, чем воздуха. Например, при повышении влажности кирпичной стены из керамического кирпича с 2 до 8 %, ее теплозащита ухудшается более чем на 30 %. И если при температуре внутреннего воздуха плюс 20°С и наружного минус 20°С на поверхности сухой стены температура составляет $14,4^{\circ}\text{С}$, то на сырой стене на $2,7^{\circ}\text{С}$ ниже и равняется $11,7^{\circ}\text{С}$ (смотри рисунок 4).



а, б - влажность стены соответственно 5 и 15 %

Рисунок 4 - Влияние влажности кирпичной стены на ее теплозащитные свойства

Теплозащитная способность стены, ее сопротивление теплопередаче зависят от интенсивности передачи тепла у внутренней и наружной поверхностей стены, в толще ограждения каждая из которых имеет свое термическое сопротивление. Общее сопротивление теплопередаче представляет собой их сумму.

2 Основы глиноведения

2.1 Определение и происхождение глин

Основным сырьем при производстве строительной керамики являются глины. Глинами называют землистые обломочные горные породы, способные образовывать с водой пластичное тесто, которое после высыхания сохраняет приданную ему форму и после обжига приобретает твердость камня.

В глиноведении термин «глина» имеет двойное значение. Им пользуются как для названия определенных разновидностей горных пород, так и для характеристики тонкодисперсных составляющих этих пород. Прочие более крупные породы относят к примесям [12].

Глины образовались в результате выветривания полевошпатных горных пород, причем выветривание носит как физический, так и химический характер. При физическом (механическом) выветривании происходит разрушение монолитных горных пород на отдельные блоки, куски и частицы в результате воздействия воды, температуры и ветра. Вода проникает в трещины горных пород и разрушает их вследствие расклинивающего действия и растворения составных частей пород. Под воздействием температурных изменений происходит деформация пород, приводящая к их растрескиванию и разрушению. Температурное воздействие усугубляется присутствием воды, которая при отрицательных температурах превращается в лед, разрывающий горные породы. Ветер выдувает и уносит частицы разрушенных пород, способствуя их дальнейшему разрушению.

Химическое выветривание в основном сводится к разрушению полевых шпатов (например, ортоклаза) углекислыми водами



В результате физического выветривания образуются куски породы размером от нескольких миллиметров (песок) до десятков сантиметров (глыбы). Продуктами химического выветривания являются каолинит и другие глинистые минералы с размерами зерен от нескольких микрометров до нескольких десятков микрометров.

Смешиваясь между собой, продукты физического и химического выветривания образуют так называемые первичные глины, как правило, сильно запесоченные.

Продукты разрушения могут переноситься водой, ветром, ледниками на значительные расстояния и откладываться там в виде вторичных глин, имеющих меньшую запесоченность и высокое содержание глинистых минералов. Вторичные глины подразделяются на:

- делювиальные – перенесенные водой;
- ледниковые – перенесенные ледниками;
- лессовидные – перенесенные ветром.

2.2 Состав глин

В глинах различают вещественный, минералогический, гранулометрический и химический составы.

2.2.1 Вещественный состав

По вещественному составу в глинах различают глинистое вещество и примеси. Как уже ранее отмечалось, глинистое вещество – это очень тонко дисперсная составляющая глин. К примесям же относят более крупные включения, например, песок, пыль. *Глинистое вещество* состоит из ряда минералов, придающих ему пластические свойства.

Примеси глин подразделяют на тонкодисперсную часть и включения. К последним относят зерна различной величины превышающие 0,5 мм. При производстве строительной керамики к включениям глин относят зерна величиной более 2 мм.

Кварцевые примеси представлены в глине кварцевым песком и тонкодисперсной кварцевой пылью, наличие которых отоцает глину, ухудшая формовочные, обжиговые и ряд других свойств.

Карбонатные примеси в глине встречаются в трех видах:

1) тонкодисперсные равномерно распределенные частицы. При обжиге они разлагаются по схеме $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, обуславливая повышенную пористость керамического черепка и некоторое снижение его прочности. Они вредны при производстве изделий со спекшимся черепком и керамзита;

2) рыхлые примазки и мучнистые скопления. При механической обработке глин они превращаются в равномерно распределенные тонкодисперсные частицы, действие которых нами уже рассмотрено;

3) плотные каменистые включения, вызывающие в изделиях пороки – дутики. Это, безусловно, вредные примеси.

Железистые примеси представлены тонкодисперсными равномерно распределенными гидроксидами железа переменного состава и включениями пирита FeS_2 . Примеси гидрооксидов железа благоприятно сказываются при получении керамических изделий с плотным черепком, способствуя спеканию черепка, и вредны лишь при производстве беложгущихся керамических изделий (фарфор, фаянс), так как вызывают интенсивную окраску изделий (от бледно-розовой до черной). Включения пирита вызывают появление на обожженных изделиях железистых выплавок. Мелкодисперсные железистые включения приводят к появлению мелких черных точек – «мушек».

Щелочные примеси в глинах встречаются в виде полевошпатного песка и растворимых солей. Последние при сушке по капиллярам выходят на поверхность и при последующем обжиге спекаются с черепком, образуя на его поверхности белые недекоративные налеты. Очень вреден Na_2SO_4 , который кристаллизуется в порах с 10 молекулами H_2O , вызывая разрушения изделия за счет возникающих внутренних напряжений.

Органические примеси придают глине черный цвет. При обжиге они выгорают, обуславливая восстановительный характер среды внутри черепка.

2.2.2 Минералогический состав

Главнейшими минералами глин являются каолинит, иллит (гидрослюда) и монтмориллонит. Следует отметить, что все они относятся к водным алюмосиликатам, характеризующимся слоистым (пакетным) строением кристаллической решетки. Отдельные пакеты решетки сложены закономерно повторяющимися слоями, образованными либо тетраэдрами $[\text{SiO}_4]^{4-}$, либо октаэдрами $[\text{AlO}_6]^{9-}$.

Пакет кристаллической решетки каолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ сложен одним тетраэдрическим и одним октаэдрическим слоями. С одной стороны пакета располагаются анионы OH^- , другой анионы O^{2-} . Наличие водородной связи между этими анионами (расположенными в соседних пакетах) обеспечивает сравнительно плотное строение кристаллической решетки. Этим объясняется слабая способность каолинита присоединять и прочно удерживать большое количество воды.

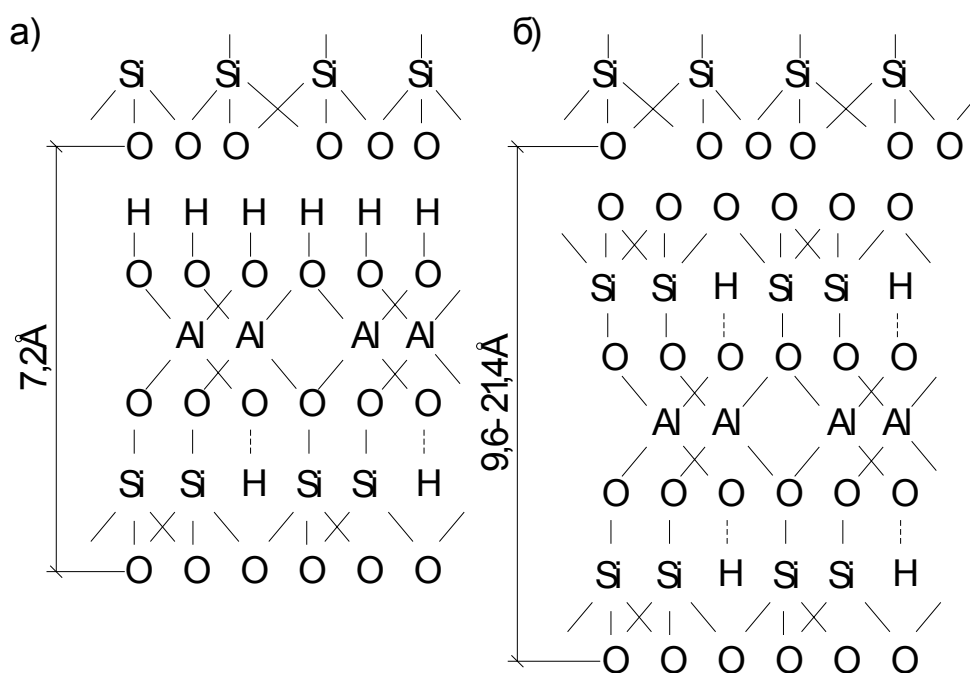


Рисунок 5 - Схема кристаллической решетки каолинита (а) и монтмориллонита (б)

При сушке каолинит легко отдает воду.

Размер частиц каолинита порядка 1-3 мкм. Межплоскостное расстояние 7,2 Å.

Структурой, подобной каолинитовой обладают и некоторые другие глинистые минералы, например диккит, накрит, галлуазит.

Более сложной кристаллической решеткой обладает *монтмориллонит* $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$. Пакет его решетки образуется уже тремя слоями: 2 наружных слагаются тетраэдрами $[SiO_4]^{4-}$, а внутренний – октаэдрами $[AlO_6]^{9-}$. На наружной поверхности тетраэдрических слоев располагаются анионы кислорода, что вызывает взаимное отталкивание смежных слоев пакетов и слабую связь между ними. Межплоскостное расстояние увеличивается до 9,6-21 Å. Благодаря слабой связи между слоями (пакетами) монтмориллонит способен поглощать большое количество влаги. При этом межплоскостное расстояние минерала растет, и он разбухает до 16 раз в объеме. Вода в решетке монтмориллонита удерживается прочно и с трудом удаляется при сушке. Подобной структурой обладают также слюды, гидрослюды (иллит), вермикулит, тальк.

Иллит $K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 2H_2O$ является продуктом длительной гидратации слюд. Обладает решеткой монтмориллонита, в которой вследствие изоморфного замещения часть ионов Si^{4+} заменена ионами Al^{3+} , а Al^{3+} ионами Fe^{3+} . Энергетический баланс выравнивают ионы K^+ (и Mg^{2+}), расположенные между пакетами.

Следующий, еще более сложный тип кристаллической решетки – хлоритовый. Пакет ее образуется двумя тетраэдрическими слоями $[SiO_4]^{4-}$, между которыми располагаются два октаэдрических слоя $[AlO_6]^{9-}$. Этой решеткой обладают клинохлор, пенин и некоторые другие минералы, которые мы не будем рассматривать.

Каолинит – диморфный минерал (2 слоя).

Монтмориллонит – триморфный минерал (3 слоя).

Хлорит – тетраморфный минерал (4 слоя).

Размер частиц каолинита 1-3 мкм, иллита около 1 мкм, монтмориллонита значительно меньше 1 мкм (1 мкм = 10^4 Å).

В зависимости от преобладания того либо иного глинистого минерала различают глины каолинитовые, монтмориллонитовые, гидрослюдистые и т.п.

2.2.3 Химический состав

Химический состав глин - исключительно важная их характеристика, по которой можно судить о пригодности глин для производства тех либо иных керамических изделий [24]. Химический состав глин представлен в виде следующих оксидов.

Кремнезем (SiO_2) - встречается в свободном либо связанном состоянии. В свободном состоянии он представляет собой кварцевый песок, пыль, а в связанном – главным образом, входит в состав глинистых минералов. Содержание SiO_2 в глинах составляет 55-65 %, а в запесоченых достигает 80-85 %.

Глинозем (Al_2O_3) в глинах находится в связанном состоянии, входя в состав глинистых минералов и слюдяных примесей. Содержание слюдяных

примесей обычно невелико, поэтому по содержанию Al_2O_3 в глине судят о количестве в ней глинистого вещества. С повышением в глине содержания Al_2O_3 , огнеупорность ее возрастает. В огнеупорных глинах содержание Al_2O_3 достигает 32-35 %, а в кирпичных - 10-15 %.

По содержанию Al_2O_3 глины подразделяют на:

- высокоглиноземистые – содержание Al_2O_3 превышает 45 %;
- высокоосновные – содержание Al_2O_3 составляет 38-45 %;
- основные – содержание Al_2O_3 составляет 28-38 %;
- полуокислые – содержание Al_2O_3 составляет 14-28 %;
- кислые - содержание Al_2O_3 не более 14 %.

CaO , MgO в состав глин входят обычно в виде карбонатов. В незначительных количествах могут находиться в составе глинистых минералов. Образуя эвтектические расплавы с Al_2O_3 и SiO_2 , они снижают температуру плавления тугоплавких глин. Содержание CaO может достигать 20-25 %, MgO - не превышает 2-3 %.

Fe_2O_3 в составе глин находится обычно в виде примесей и, как уже отмечалось, оказывает на обожженное изделие сильное красящее действие. При обжиге в восстановительной среде снижает температуру плавления глины. Содержание Fe_2O_3 может достигать 8-10 %, а в беложгущихся – не превышает долей процента.

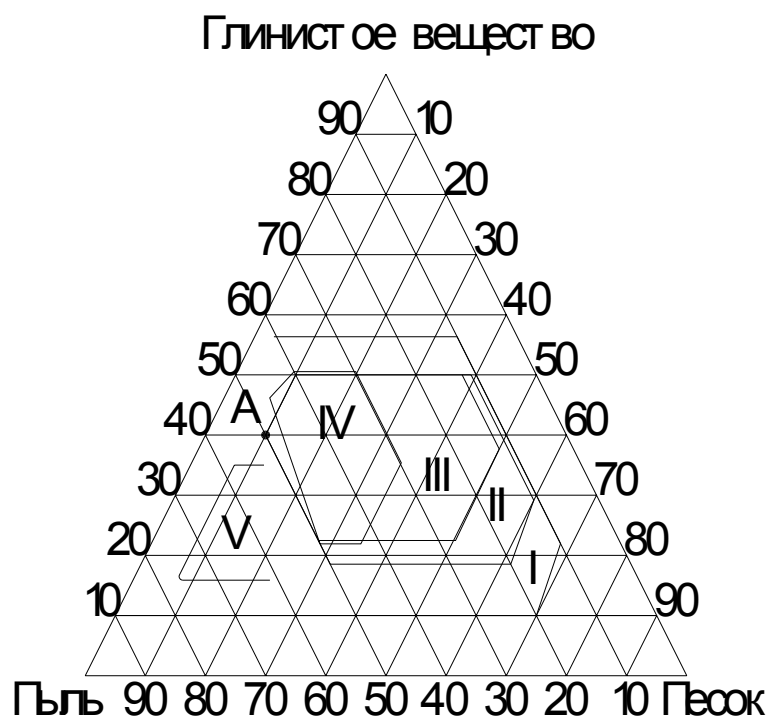
TiO_2 содержится в примесях до 1,5 %. Обожженному черепку придает зеленоватую окраску.

Na_2O , K_2O в незначительных количествах входят в состав глинистых минералов, главным же образом, в глины вносятся примесями. Содержание достигает 5-6 %. Ослабляют красящее действие Fe_2O_3 и TiO_2 , снижают температуру плавления глин.

2.2.4 Гранулометрический состав глин

Гранулометрическим составом глин называют распределение зерен в глинистой породе по их величине, выраженное в процентах по массе. В производстве тонкой керамики (фарфор, фаянс) гранулометрический состав глин характеризуют по шестичленной классификации, размер частиц в мкм: 1000-250; 250-50; 50-10; 10-5; 5-1; менее 1. К глинистому веществу относят только последнюю фракцию, менее 1 мкм.

Для характеристики глин, используемых в производстве строительной керамики, пользуются трехчленной классификацией (по Рутковскому), приведенной на рисунке 6, относя к глинистой части фракцию менее 5 мкм, к пылевидной - 5-50 мкм и к песчанистой – 50 мкм - 2 мм. Частицы более 2 мм – включения.



Области составов глин, пригодных для изготовления:

- I – полнотелого кирпича; II – пустотелого кирпича; III – черепицы;
- IV – дренажных труб и других тонкостенных изделий; V – гончарных и других изделий, не требующих морозостойкого черепка

Рисунок 6 – Назначение глин в зависимости от их гранулометрического состава

Трехчленная классификация дает возможность графически изобразить гранулометрический состав глин при помощи тройной концентрационной диаграммы состояния Гиббса и обозначить на ней области гранулометрических составов глин, пригодных для производства определенных видов строительной керамики.

Каждая из вершин треугольника соответствует 100 % содержанию какого-либо компонента. Стороны треугольника отвечают бинарным составам компонентов, лежащих на противоположных концах сторон. Полному составу трехкомпонентной смеси отвечает точка, лежащая внутри треугольника. Точке А соответствует состав: 40 % глинистого вещества + 10 % песка + 50 % пыли.

По содержанию глинистых частиц глинистые породы подразделяются на следующие виды (смотри таблицу 2).

Таблица 2 - Классификация глин по содержанию глинистых частиц

Наименование породы	Содержание глинистых частиц (размер менее 0,005 мм), %	Число пластичности
Глина	более 30	более 22
Суглинок:		
Тяжелый	20-30	10-22
Легкий	10-20	10-22
Супесь	5-10	0-10

2.3 Свойства глин

Многочисленные свойства глин могут быть объединены в четыре основные группы:

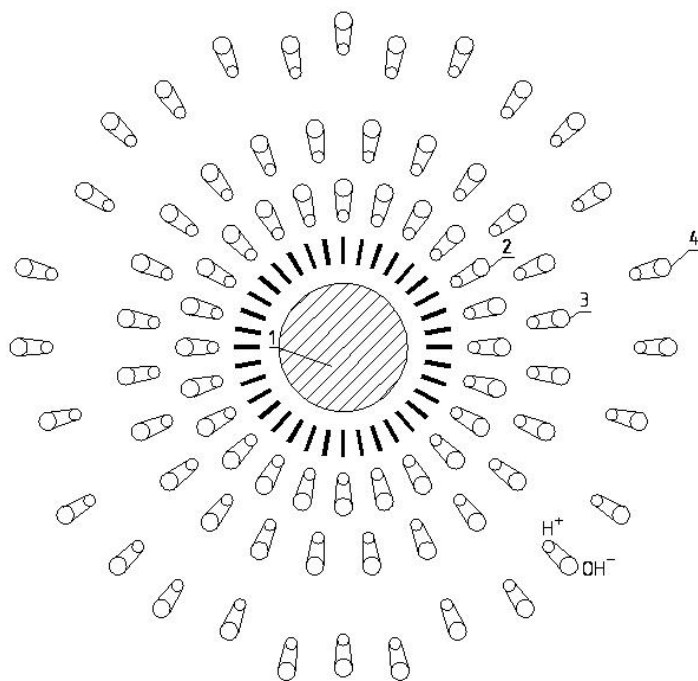
- водные;
- механические;
- сушильные;
- термические.

2.3.1 Водные свойства глин

Они проявляются при взаимодействии глины с водой в естественных условиях. Рассматривая ранее кристаллические структуры глинистых минералов, мы отмечали присутствие молекул воды между отдельными слоями пакетов решетки, образующих зерна минералов. Эта вода прочно связана и носит название “кристаллизационной”. Она может быть удалена при нагревании минералов до $t=550-800$ °С (каолинит). Отдельные элементарные зерна глинистых минералов имеют суммарный, отрицательный заряд вследствие явлений изоморфного замещения катионов в кристаллической решетке и наличия оборванных некомпенсированных связей на поверхности зерна.

Это приводит к появлению вокруг частиц минералов сильного отрицательно заряженного электрического поля и ориентации дипольных молекул H_2O , окружающих зерна минералов положительными своими концами в сторону зерна. На наружной поверхности образовавшегося первого слоя воды, выступают отрицательные концы диполей воды, приводящие к такой же ориентации и последующих слоев воды. Ближние к частице минерала слои воды находятся под действием сильного электрического поля частицы и прочно с ней связаны, образуя адсорбционный слой. Эта вода – адсорбционная.

По мере удаления от поверхности частицы сила ее поля ослабевает и молекулы воды приобретают возможность незначительно перемещаться. Эта вода образует диффузный слой и носит название диффузной или рыхлосвязанной воды. Остальная вода заполняет объем между частицами и носит название “свободной” воды. Обводненная частица глины носит наименование «мицелла».



1 – глинистая частица; 2 – мономолекулярный слой адсорбционной воды; 3 - полимолекулярный слой адсорбционной воды; 4 – диффузный слой

Рисунок 7 – Структура водной оболочки зерна глинистого минерала

В монтмориллоните межслоевая вода удаляется при $t=120-200$ °С, а у каолинита при $t=130$ °С. Кристаллизационная вода у монтмориллонита удаляется при $t\sim 600-700$ °С.

Каолинит: при $t=100-110$ °С удаляется гигроскопическая и свободная вода; при $450-800$ °С – удаляется химически связанная вода в виде OH^- .

Важной характеристикой водных свойств глины является *влагоемкость*, т.е. способность глины вмещать в себя определенное количество воды и удерживать ее вопреки действию силы тяжести. Вода в глине удерживается как силами молекулярного притяжения – адсорбционная (связанная) и диффузная вода, так и силами осмотическими и капиллярными – свободная. С увеличением дисперсности, а, следовательно, удельной поверхности глины, ее влагоемкость растет. Наглядный пример тому – большая влагоемкость монтмориллонитовых глин по сравнению с каолинитовыми.

Наличие сил молекулярного притяжения обусловлено действием Ван-дер-ваальсовых сил – взаимодействием между диполями. Водородные связи проявляются для молекул, содержащих группы OH^- , FH^- , NH^- . Водородная связь сильнее Ван-дер-ваальсовой, которая в ряде случаев является ее составляющей.

Различают *максимальную молекулярную влагоемкость* – относительное количество влаги, остающееся в глиняном диске диаметром 50 и толщиной 2 мм после его обжатия в пакетах фильтровальной бумаги под прессом при

давлении 6,5 МПа в течение 10 мин, и *капиллярную влагоемкость* – относительное равновесное количество влаги, поглощенное глиной при ее непосредственном контакте с водой.

Явление контракции – объем набухшей глины меньше суммы объемов ее минеральной части и воды, что объясняется сжатием воды и повышением ее плотности при адсорбировании зернами глинистых частиц (а также действием капиллярных и осмотических сил, возникающих при впитывании глиной воды и сближающих зерна глины).

Основными влажностными характеристиками глины являются абсолютная и относительная влажность глины.

Относительная влажность глины или просто «влажность» представляет собой содержание воды в глине, выраженное в процентах по отношению к общей массе влажной глины

$$W_{отн} = \frac{g_0 - g_1}{g_0} \cdot 100 \%, \quad (16)$$

где g_0 – масса исходной навески, г;
 g_1 – масса высушенной навески, г.

Абсолютная влажность глины – содержание воды в глине, выраженное в процентах по отношению к массе сухой глины

$$W_{абс} = \frac{g_0 - g_1}{g_1} \cdot 100 \% \quad (17)$$

Зависимость между $W_{отн}$ и $W_{абс}$ выражается следующими формулами:

$$W_{абс} = \frac{W_{отн}}{100 - W_{отн}} \cdot 100\% \quad (18)$$

и

$$W_{отн} = \frac{W_{абс}}{100 + W_{абс}} \cdot 100\% \quad (19)$$

Способность глины увеличивать свой объем за счет поглощения влаги из воздуха или при ее непосредственном контакте с водой называется *набуханием*. Количественно степень набухания измеряется относительным увеличением первоначального объема, выраженным в процентах, или набухаемостью – приростом массы поглощенной влаги по отношению к первоначальной массе глины. Наибольшая набухаемость у монтмориллонитовых глин.

Размокание – распад в воде агрегированных глиняных частиц на более мелкие или элементарные зерна с образованием полидисперсной системы.

Прочность глин (безводных) объясняется действием различных факторов и главным образом силами межмолекулярного притяжения – Ван-дер-ваальсовыми силами, возникающими вследствие поляризации молекул.

Первой стадией диспергирования (распада) глинистых частиц является их набухание, при котором молекулы воды, втягиваясь в промежутки между зернами агрегата, расклинивают их. По мере возрастания толщины водных прослоек между зернами силы межмолекулярного сцепления ослабевают, но зерна еще удерживаются в агрегате за счет действия капиллярных сил, проявляющихся внутри относительно крупных пор. Когда же поры полностью заполнятся водой, мениски исчезнут, и действие капиллярных сил прекратится. Зерна же начнут свободно перемещаться друг относительно друга, что означает полное размокание глины.

Интенсивность размокания имеет большое значение для приготовления однородного пластичного теста и шликеров.

Взаимодействие глины с электролитами. Электролиты оказывают большое воздействие на процесс размокания глины вследствие своего пептизирующего (разжижающего) действия. Это объясняется тем, что ионы Na^+ , K^+ и т.д. внедряются в диффузный слой сольватной оболочки глинистой частицы и ослабляют электрическое поле частицы, что в свою очередь приводит к уменьшению толщины диффузной оболочки и увеличению количества свободной воды. Таким образом, повышается подвижность (текучесть) шликера и снижается влагоемкость теста.

Тиксотропное упрочнение – свойство влажной глиняной массы самопроизвольно восстанавливать нарушенную структуру и упрочняться при неизменной влажности. Схема процесса тиксотропного упрочнения глины приведена на рисунке 8

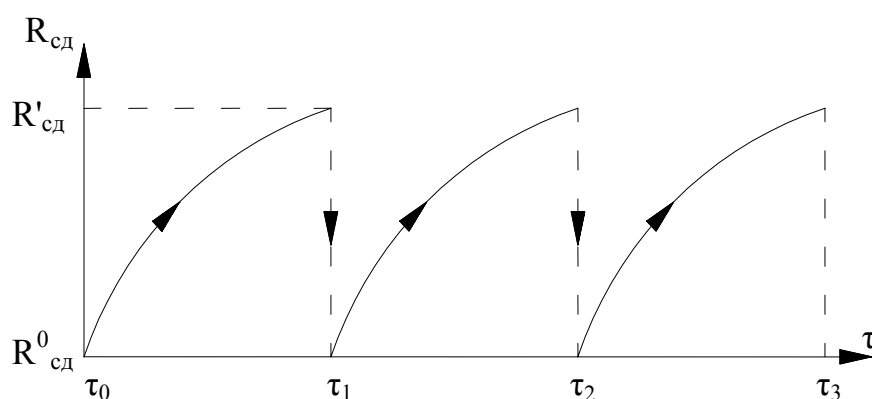


Рисунок 8 - Схема процесса тиксотропного упрочнения глины

В начальный момент времени t_0 глиняная масса имеет прочность при сдвиге $R_{сд}^0$. С течением времени ее прочность возрастает, достигая ко времени t_1 величины $R_{сд}^1$. Затем структуру разрушают путем перемешивания, и прочность снижается до $R_{сд}^0$. Затем, ко времени t_2 , она вновь достигает величины $R_{сд}^1$. И так далее.

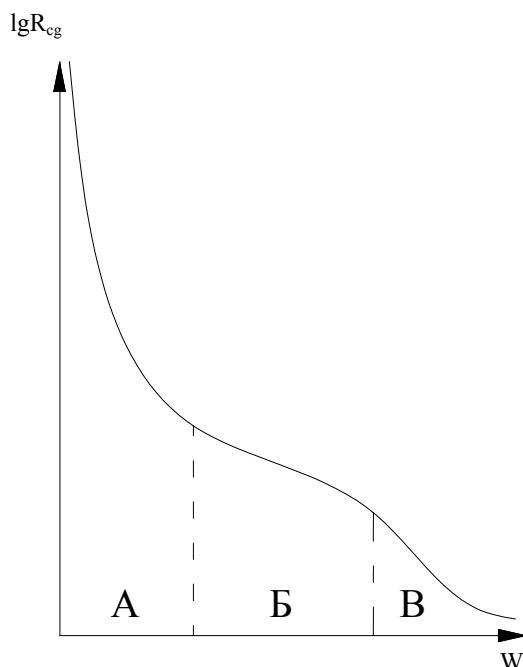
Самоупрочнение глиняной массы – следствие упорядочения ее структуры за счет переориентации частиц глины и молекул воды таким образом, что они стыкуются концами, имеющими разноименные заряды, что увеличивает силу их сцепления.

2.3.2 Механические свойства глин и связь их с влажностью

Механические свойства глин – свойства, проявляющиеся у глин при воздействии на них внешних усилий. К ним в первую очередь следует отнести пластичность, формуемость, растяжимость.

Пластичность – способность глины под воздействием внешних усилий принимать любую форму без разрыва сплошности и сохранять ее после прекращения действия этих усилий. Пластичность является одним из физических состояний глины, которая может, кроме того, находиться в хрупком и вязко-текучем состояниях.

Образец, находящийся в хрупком состоянии, при разрыве разрушается без изменения своего поперечного сечения; после разрыва система не восстанавливается. Образец, находящийся в вязко-текучем состоянии, растекается под действием собственной массы. Пластическое состояние – промежуточное между хрупким и вязко-текучим. Каждое из этих трех состояний занимает определенное место на графике, отражающем изменение деформативных свойств глины в зависимости от ее влажности.



Области состояния: А – хрупкого; Б – пластического; В – вязко-текучего

Рисунок 9 - Изменение деформативных свойств глины в зависимости от влажности

В абсолютно сухом состоянии ($W=0$) глиняный образец имеет высокую прочность и разрушается хрупко. Незначительное увеличение влажности образца приводит к резкому падению прочности его вследствие адсорбционного расклинивания частиц поглощаемой влагой, однако хрупкое состояние сохраняется во всей области «А».

При дальнейшем поглощении влаги наступает момент замедления падения прочности с ростом влажности образца (область «Б»). В этой области прочность глиняного теста обусловлена не только силами молекулярного притяжения, но и силами капиллярного давления. Прочность образца еще достаточна для сохранения им формы под действием собственной массы, но водные оболочки глинистых частиц уже сравнительно велики и обеспечивают скольжение частиц друг относительно друга при воздействии на них внешних усилий. Это область пластического состояния глин.

При дальнейшем увеличении влажности образца толщина водных оболочек частиц возрастает настолько, что полностью исключает действие межмолекулярных сил и сил капиллярного давления. Прочность системы (глина – вода) падает настолько, что она оказывается не в состоянии выдержать действие собственного веса и растекается. Это состояние – вязко-текучее (область «В»).

Количественной мерой пластичности является число пластичности «П»:

$$П = W_T - W_p, \quad (20)$$

где W_T и W_p – влажности пределов текучести и раскатывания, %.

W_p (влажность предела раскатывания) – граница между хрупким и пластическим состоянием системы, а W_T (влажность предела текучести) – граница между пластическим и вязкотекучим состоянием системы.

В зависимости от числа пластичности глинистое сырье по пластичности подразделяются на 5 групп (смотри таблицу 3).

Таблица 3 - Классификация глин по пластичности

Группы глинистого сырья	Высоко-пластичные	Средне-пластичные	Умеренно-пластичные	Мало-пластичные	Непластичные
Число пластичности	Более 25	15-25	7-15	Менее 7 до 3	Не дают пластичного теста, менее 3

Исходя из классического уравнения Бингама – Шведова, для вязкой жидкости пластичность глины можно охарактеризовать показателем пластичности γ [12]

$$\gamma = \frac{P_m}{\eta}, \quad (21)$$

где P_m - пластическая прочность (предел прочности при сдвиге);
 η – структурная вязкость.

Из уравнения видно, что тело теряет пластичность при $P_m \rightarrow 0$ (система становится текучей) и $\eta \rightarrow \infty$ (система становится хрупкой).

Наблюдается взаимосвязь между пластичностью глин и их гранулометрическим и минералогическим составами. Так пластичность возрастает с повышением дисперсности глин, причем в наибольшей степени пластичность возрастает с увеличением в глине содержания зерен менее 0,5 мкм.

Наибольшей пластичностью отличаются монтмориллонитовые глины, наименьшей – каолиновые. Запесоченность глин снижает их пластичность.

Формуемостью керамической массы (смеси глины с различными добавками) называют ее способность деформироваться без разрушения структуры.

Формовочная влажность – максимальная влажность, при которой глина способна формироваться под действием усилия руки человека и в то же время не прилипать к рукам и к металлу. Формовочную влажность также называют водой затворения и влажностью рабочего теста. Среднее усилие нажатия руки около 0,2 МПа, а предельное напряжение сдвига при формовочной влажности около 0,06 МПа.

Формовочная влажность W_ϕ зависит от состава глины: запесоченность понижает ее, повышение дисперсности повышает. Для монтмориллонитовых глин W_ϕ выше, чем для каолиновых.

Формовочная влажность глин связана с содержанием в ней глинистого вещества (частиц менее 5 мкм) $A_{гг}$ следующей зависимостью

$$W_\phi = K * A_{гг}, \quad (22)$$

где K – коэффициент, зависящий от содержания в глине глинистой фракции.

Таблица 4 – Значения коэффициента K при различном содержании глинистых частиц в глине

Наименование показателя	Содержание глинистых частиц $A_{гг}$, %						
	6-7	8-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Значение коэффициента K	3,2	2,2	1,5	1,0	0,8	0,6	0,5

Установлена зависимость между формовочной влажностью и максимальной молекулярной влагоемкостью $W_{\text{мм}}$

$$W_{\text{мм}} = 0,7 W_{\text{ф}} \quad (23)$$

Растяжимость глин – предельное относительное удлинение глиняного жгута при разрыве. Величина растяжимости косвенно характеризует трещиностойкость керамических изделий при сушке. Для легкоплавких глин величина растяжимости составляет 0,2-1,3 %.

С увеличением растяжимости трещиностойкость глин возрастает.

2.3.3 Сушильные свойства глин

Они отражают изменения, происходящие в глине при ее сушке. К ним относят воздушную усадку, чувствительность глин к сушке и влагопроводность глины.

Воздушная усадка представляет собой уменьшение линейных размеров и объема глиняного образца при его сушке. Появление усадочных деформаций объясняется действием внутренних сил и в первую очередь сил капиллярного давления. Механизм воздушной усадки, возникающей под действием сил капиллярного давления, можно проследить на приведенной схеме.

Вода 1, полностью заполняющая капилляр, образованный отдельными глинистыми частицами 2, находится под воздействием гравитационных сил P_{g0} , уравнивающих силами капиллярного давления P_{k0} , действующими по периметру капилляра. Принимая сечение капилляра за круглое диаметром d_0 , запишем выражения для обеих сил [12]

$$P_{g0} = \frac{\pi d_0^2}{4} h_0 \rho, \quad (24)$$

$$P_{k0} = \pi d_0 \sigma, \quad (25)$$

где h_0 – усредненная высота столба воды в капилляре;
 σ – поверхностное натяжение воды

В условиях равновесия

$$P_{g0} = P_{k0} \quad (26)$$

При сушке наблюдается испарение влаги из капилляра, и в какой-то момент времени объем воды составит V_1 . При неизменном диаметре $d_1 = d_0$ уменьшение объема происходит за счет уменьшения высоты столба воды до $h_1 < h_0$. При этом наблюдается неравенство $P_{g1} < P_{k1}$, т.к. P_{g1} стало меньше P_{k1} , а $P_{k1} = P_{k0}$. Система стремится к равновесию, и силы P_k будут стремиться

растянуть столб воды за счет уменьшения его сечения, что приведет к сокращению капилляра и сближению частиц глины. Сближение будет происходить до тех пор, пока капиллярные и гравитационные силы не уравновесятся либо пока твердые частицы не соприкоснутся.

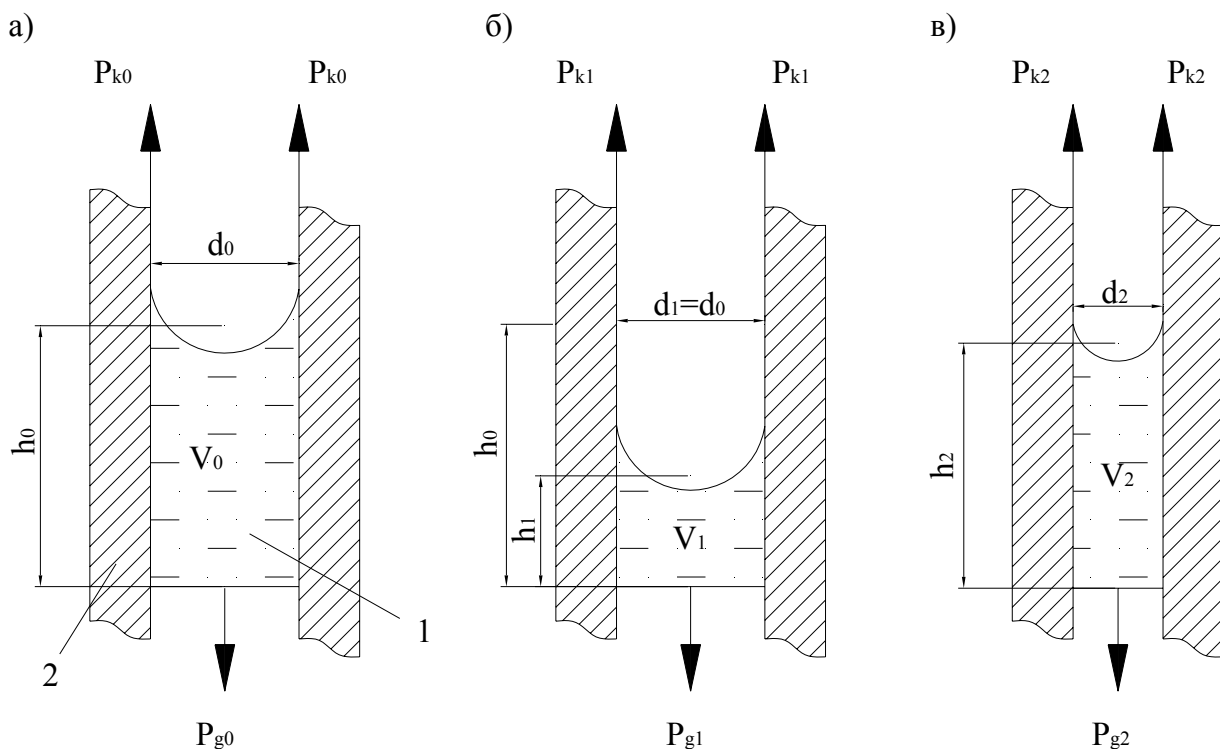


Рисунок 10 - Схема возникновения усадочных деформаций в результате действия капиллярных сил

При достижении равновесного состояния

$$V_2=V_1; \quad d_2<d_1; \quad P_{g1} = P_{g2}; \quad P_{g2}= P_{k2}$$

Не исключается возникновение усадки и под действием осмотических сил, механизм действия которых выглядит следующим образом. Связанная вода, образующая вокруг частиц гидратные оболочки, и вода, заполняющая капилляры, содержат катионы, являющиеся продуктами диссоциации растворимых солей.

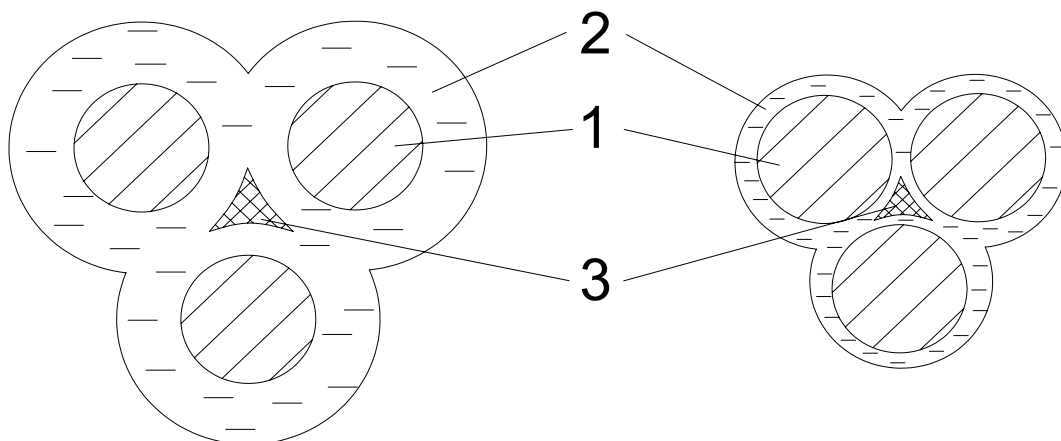
Капиллярная вода, обладающая меньшей силой связи с глинистыми частицами, испаряется в первую очередь. При этом возрастает концентрация ионов в воде, остающейся в капиллярах. Это приводит к нарушению равновесия сил осмотического давления в капилляре и в гидратной оболочке, вследствие чего вода из оболочки перемещается в капилляр. Толщина оболочки уменьшается, и возрастают силы межмолекулярного притяжения между частицами, приводящие к сближению частиц.

При высоких влажностях глины преобладает, видимо, действие сил капиллярного давления, а с понижением влажности главенствующую роль занимают силы осмотического давления и межмолекулярного притяжения.

Усадка количественно определяется величиной относительной усадки $Y_{от}$

$$Y_{от} = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \cdot 100, \% \quad (27)$$

где l_0 и l_1 – длина образца начальная и высушенного до постоянных размеров, мм.



1 – глинистая частица, 2 – гидратная оболочка, 3 – капилляр

Рисунок 11 - Схема сближения глинистых частиц при уменьшении толщины гидратных оболочек

Относительная усадка колеблется в пределах от 2 до 8 %. Запесоченность глин снижает усадку. Монтмориллонитовые глины характеризуются большей усадкой, а каолинитовые – меньшей.

Зависимость усадки глиняного образца от его влажности носит линейный характер. Наклон линии, отражающий эту зависимость, не зависит от начальной величины образца. Он зависит лишь от минералогического состава глины и характеризует ее усадочные свойства. На рисунке 12 приведена графическая зависимость величины усадки от влажности образца. Угол наклона линии, характеризующей зависимость величины усадки от влажности глины, определяется составом глинистого сырья и не зависит от его начальной и конечной влажности.

$\beta_1 = \operatorname{tg} \alpha$ – коэффициент усадки.

$$\beta_1 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{l_0 - l_{кy}}{w_0 - w_{кy}} \quad (28)$$

или

$$\beta_1 = \frac{d_l}{d_w} \quad (29)$$

где l_0 и w_0 - начальные значения длины и влажности образца;
 $l_{кy}$ и $w_{кy}$ - длина и влажность образца в момент прекращения в нем усадочных явлений.

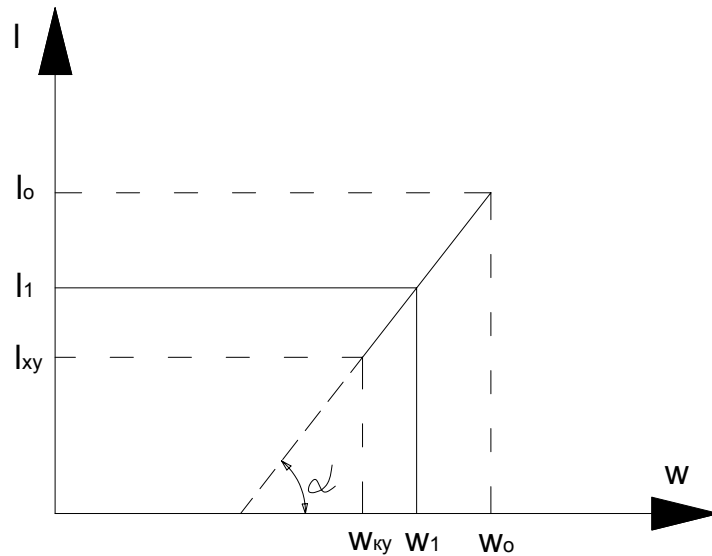


Рисунок 12 – Схема определения коэффициента усадки

Физический смысл коэффициента линейной усадки β_1 заключается в том, что он характеризует интенсивность усадки на 1 % удаленной влаги. Для объемной усадки справедливо равенство

$$\beta_v = 3 \beta_1 \quad (30)$$

$\beta_1 = 0,5 - 0,7$ для изделий пластического формования;
 $\beta_1 = 0,15 - 0,35$ для изделий полусухого прессования.

Влагопроводность глины. Процесс сушки любого тела можно разделить на три фазы: 1- перемещение влаги внутри материала; 2 – парообразование; 3 – перемещение паров воды с поверхности материала (в том числе внутренней) в окружающую среду. Количественной мерой влагопроводности глин, т.е. перемещения влаги внутри материала, является коэффициент диффузии a_m , $m^2/ч$ (аналог коэффициент температуропроводности).

По аналогии с потенциалами переноса тепла (температура) и переноса электричества (напряжение) принят потенциал переноса влаги внутри твердого тела (не отождествлять с влажностью материала) – θ_1 °М (массообменный градус). Шкала градуировки потенциала влагопереноса содержит 100 °М. При соприкосновении двух тел с $\theta_1 = \theta_2$ влагообмена между ними наблюдаться не

будет, даже при различной их влажности (вследствие разной водоудерживающей способности).

a_m характеризует интенсивность перемещения изовлажностной поверхности внутри сохнущего тела.

Для различных тел $a_m \approx (0,66 - 2,14) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{ч}$.

Температурная зависимость коэффициента диффузии для глин описывается формулой [12]

$$\frac{a_{m1}}{a_{m2}} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{1,3} \quad (31)$$

С увеличением в глине содержания глинистой фракции величина a_m падает, т.к. глинистые минералы связывают воду, препятствуя ее перемещению. У монтмориллонитовых глин a_m в 10-15 раз меньше, чем у каолинитовых. Повышение содержания крупной фракции песка при сохранении общего уровня запесоченности глины приводит к повышению a_m за счет образования более крупных капилляров, обуславливающих меньшее гидродинамическое сопротивление перемещению влаги.

Чувствительность глин к сушке. При неодинаковой величине усадки по сечению и по поверхности изделия возникают различные по величине напряжения внутри и на поверхности изделия, приводящие к появлению трещин на поверхности изделия, а затем и в глубине его. Показателем трещиностойкости глин к сушке служит, обратный ему по смыслу, коэффициент чувствительности глин к сушке K_q

$$K_q = \frac{V_y}{V_n}, \quad (32)$$

где V_y – объем усадки, см^3 ;
 V_n – объем пор, см^3 .

По величине K_q глины разделяются на три класса:

- 1 – малочувствительные $K_q < 1$;
- 2 – среднечувствительные $K_q = 1-1,5$;
- 3 – высокочувствительные $K_q > 1,5$.

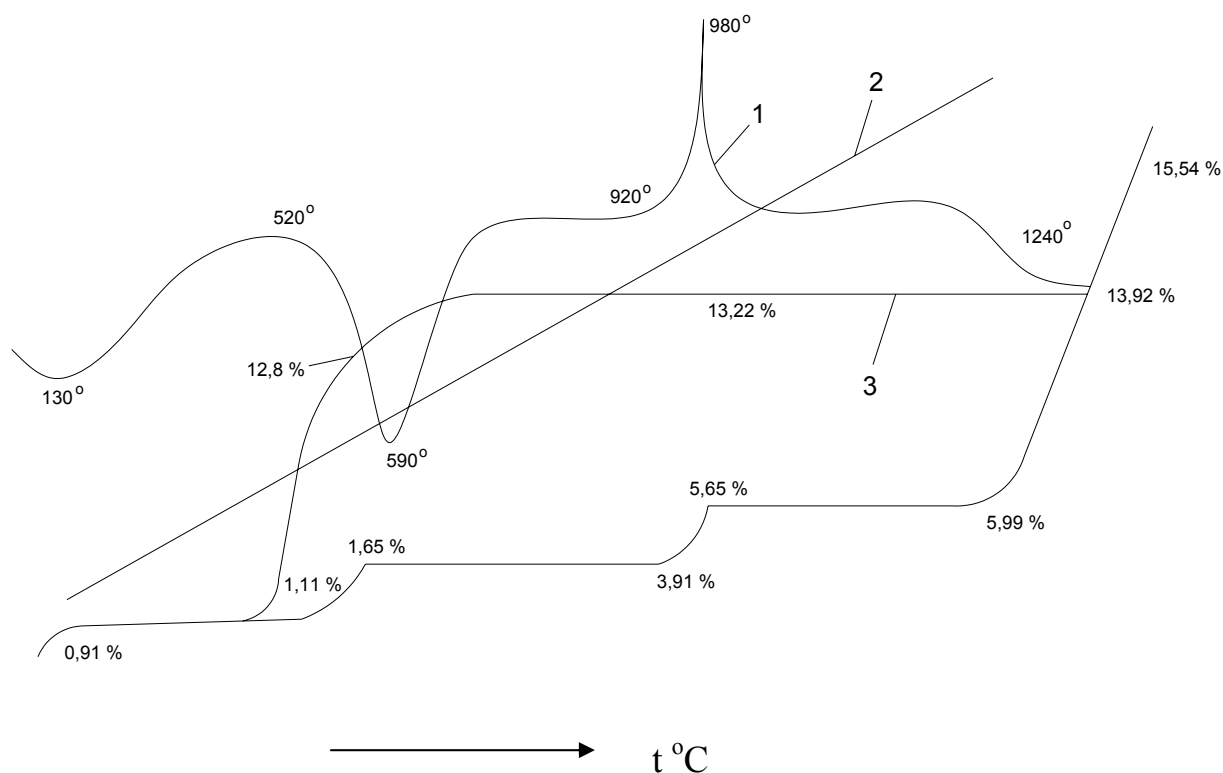
Установлено, что глины с $K_q < 0,5$ также высокочувствительные. Видимо в этих глинах мало глинистых частиц и много пор, что понижает растяжимость. Трещиностойкость глин понижается с повышением коэффициента усадки и возрастает с повышением влагопроводности. Поэтому запесоченные глины (но с крупным песком) менее чувствительны к сушке, нежели жирные глины.

С увеличением растяжимости глин трещиностойкость их возрастает, так как такие глины очень пластичны и отличаются сравнительно большой силой связи частиц.

2.3.4 Термические свойства глин

Свойства, проявляющиеся в процессе нагрева глины при высоких температурах, называют термическими. При нагревании глин происходит ряд сложных физических, химических и физико-химических превращений, как с глинистыми минералами, так и с примесями глин и добавками, вводимыми в состав керамической массы.

Конституционные изменения, то есть сопровождающиеся изменениями в кристаллической решетке глинистых минералов при их нагреве, легче всего выявляются и прослеживаются на комплексных термограммах, одну из которых мы и рассмотрим. Она снята для каолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.



- 1 – дифференциальная температурная кривая;
- 2 – температурная кривая;
- 3 – кривая потерь в массе, %;
- 4 – кривая усадки, %.

Рисунок 13 - Комплексная термограмма глуховецкого каолина

При температуре 130 °С появляется первый эндотермический эффект, соответствующий испарению из каолинита адсорбционной воды.

Следующий значительный эндотермический эффект наблюдается в области температур 520–590 °С; он соответствует отщеплению и удалению из каолинита химически связанной (гидратной) воды. Об этом же свидетельствует

и кривая потерь в массе (12,8 %). Наблюдается при этом и некоторая усадка образца. Дегидратация каолинита приводит к образованию метакаолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ со скрытокристаллической (почти аморфной) структурой. В интервале $t=550-830$ °С метакаолинит постепенно распадается на аморфные $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и SiO_2 .

В интервале $t=920-980$ °С на диффузной кривой отмечается пик, появление которого приписывают переходу $\gamma \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и образованию муллита $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Отмечается при этом усадка образца (кривая 4). В интервале $t=1205-1240$ °С отмечается еще один слабый экзоэффект, являющийся следствием кристаллизации кристобалита из оставшегося несвязанным аморфного кремнезема. Наблюдается интенсивная усадка образца.

Термограммы других глинистых минералов сходны с рассмотренной по характеру, но у них наблюдается температурный сдвиг фазовых превращений. Так удаление физически и адсорбционно связанной воды происходит при $t=110-250$ °С у монтмориллонитовых глин. В интервале $t=850-1200$ °С у них, а также у иллитовых, наряду с муллитом, образуются шпинели ($\text{MeO} \cdot \text{Me}_2\text{O}_3$). Фазовым изменениям при нагреве подвержены не только глинистые минералы, но и примеси глин. Главнейшая примесь глин – кварцевый песок - при нагреве претерпевает ряд модификационных превращений, сопровождающихся объемными изменениями.

Выявлены три формы и 7 модификаций кристаллического кремнезема.

Таблица 5 – Формы и модификации кремнезема

Формы	Модификации	Плотность, г/см ³
Кварц	β -кварц	2,65
	α -кварц	2,52
Кристобалит	β -кристобалит	2,34
	α -кристобалит	2,22
Тридимит	γ -тридимит	2,31
	β -тридимит	2,29
	α -тридимит	2,23

Практическая схема (в условиях относительно быстрого обжига) этих превращений выглядит следующим образом (смотри рисунок 14). В природе кремнезем встречается обычно в виде β -кварца. Параллельные стрелки отмечают обратимые переходы, а одинарные – необратимые. Продукты обжига будут содержать как α -кристобалит, так и α -кварц, которые при охлаждении образца переходят соответственно в β -кварц и β -кристобалит.

В интервале $t=1400-1470$ °С α -кристобалит переходит в α -тридимит. При очень медленном и длительном нагревании при $t=870$ °С может быть достигнут переход α -кварц \rightarrow α -тридимит, минуя форму α -кристобалита, но на практике он не достигается.

При $t=1470\text{ }^{\circ}\text{C}$ α -тридимит переходит в устойчивую форму α -кристобалита, которая при $t=1723\text{ }^{\circ}\text{C}$ переходит в расплав (кварцевое стекло). α -кристобалит, образующийся в интервале $t=1050\text{-}1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ неустойчив и носит название – метакристобалит.

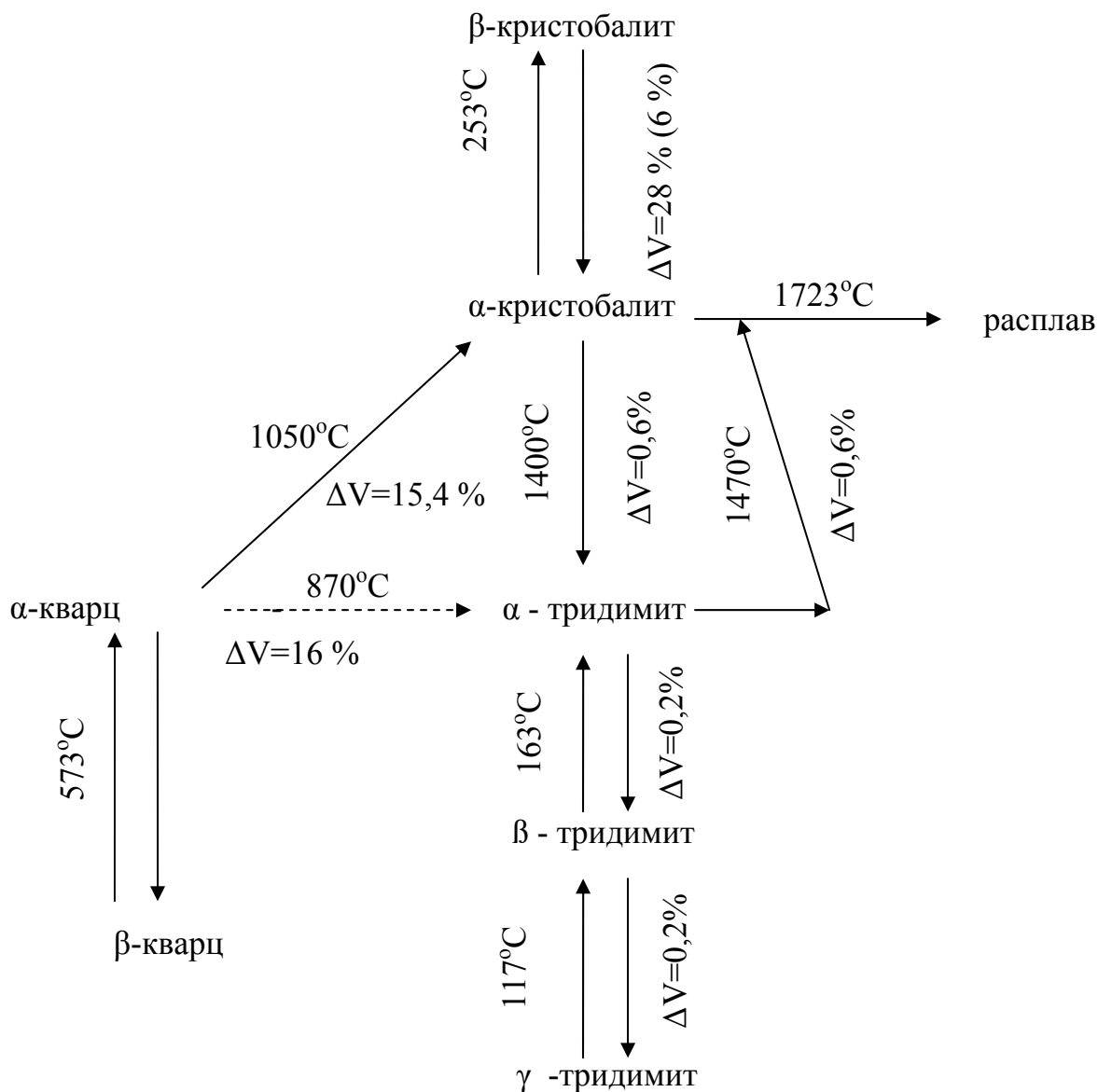


Рисунок 14 – Практическая схема полиморфных превращений кремнезема

Легкость переходов в пределах одной формы объясняется незначительной перестройкой кристаллической решетки, в то время как для превращений из одной формы в другую необходима значительная ее перестройка, чем и объясняется незначительная скорость этих переходов.

Очень важны переходы $\beta \rightarrow \alpha$ -кварц и α -кварц $\rightarrow \alpha$ -кристобалит, так как они сопровождаются значительными объемными изменениями и могут

оказывать решающее влияние на прочность и целостность обожженного керамического изделия.

Взаимодействие глинистых минералов с примесями при нагревании.

Наряду с песком в глине могут наблюдаться примеси карбонатов кальция и магния (CaCO_3 и MgCO_3), оксиды и сернистые соединения железа, органические вещества. CaCO_3 и MgCO_3 , диссоциируя, повышают пористость черепка, если же они наблюдаются в виде каменистых включений, то образовавшиеся при обжиге кусочки CaO и MgO поглощают влагу из воздуха, переходя в Ca(OH)_2 и Mg(OH)_2 , имеющие больший объем, что приводит к образованию вздутий на поверхности изделия («дутики») и даже его разрушению.

Оксидные железистые включения образуют при обжиге в восстановительной среде легкоплавкие эвтектики с SiO_2 ($n\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$), способствуя уплотнению черепка. Сернистые соединения железа дают выплавки на изделиях.

Органические соединения при $t=350-400$ °С разлагаются на летучие, которые сгорают, и коксик, сгорающий при $t=700-800$ °С. Продукты сгорания повышают пористость черепка и создают в нем восстановительную среду. Удаление избытка газа должно закончиться до момента уплотнения (спекания) поверхности черепка, в противном случае может наступить разрушение изделия. Аморфный кремнезем, образующийся при разложении глинистых минералов, при высоких температурах вступает в реакцию с примесями глины (R_2O , FeO , Fe_2O_3 , MgO), образуя силикатные стекловидные расплавы, цементирующие отдельные зерна черепка. Не вошедшая в реакцию часть аморфного кремнезема переходит в кристобалит и вместе с зернами кремнезема, введенного в керамическую массу в виде отошающих добавок, а также муллита образует скелетный каркас черепка.

Последовательность основных изменений и взаимодействий, происходящих при обжиге каолинитовой глинистой породы можно представить схемой, представленной на рисунке 15 [11].

Огнеупорность глин. Связь ее с химическим составом. Классификация глин по огнеупорности.

Огнеупорность – способность керамических материалов противостоять воздействию высоких температур, не расплавляясь. Показатель огнеупорности – температура, при которой пироскоп (трехгранная усеченная пирамида – конус, - установленных размеров) деформируется под действием собственной тяжести, касаясь при этом своей вершиной керамической подставки. Эта температура – условная температура плавления, так как глина – полиминеральная смесь, состоящая из ряда минералов с различными температурами плавления. Поэтому глина плавится в некотором интервале температур.

Глины по огнеупорности делятся на 4 класса:

- высокоогнеупорные - огнеупорность выше 2000 °С;
- огнеупорные - огнеупорность выше 1580 °С (до 2000 °С);
- тугоплавкие – огнеупорность 1350-1580 °С;

- легкоплавкие – огнеупорность ниже 1350 °С.

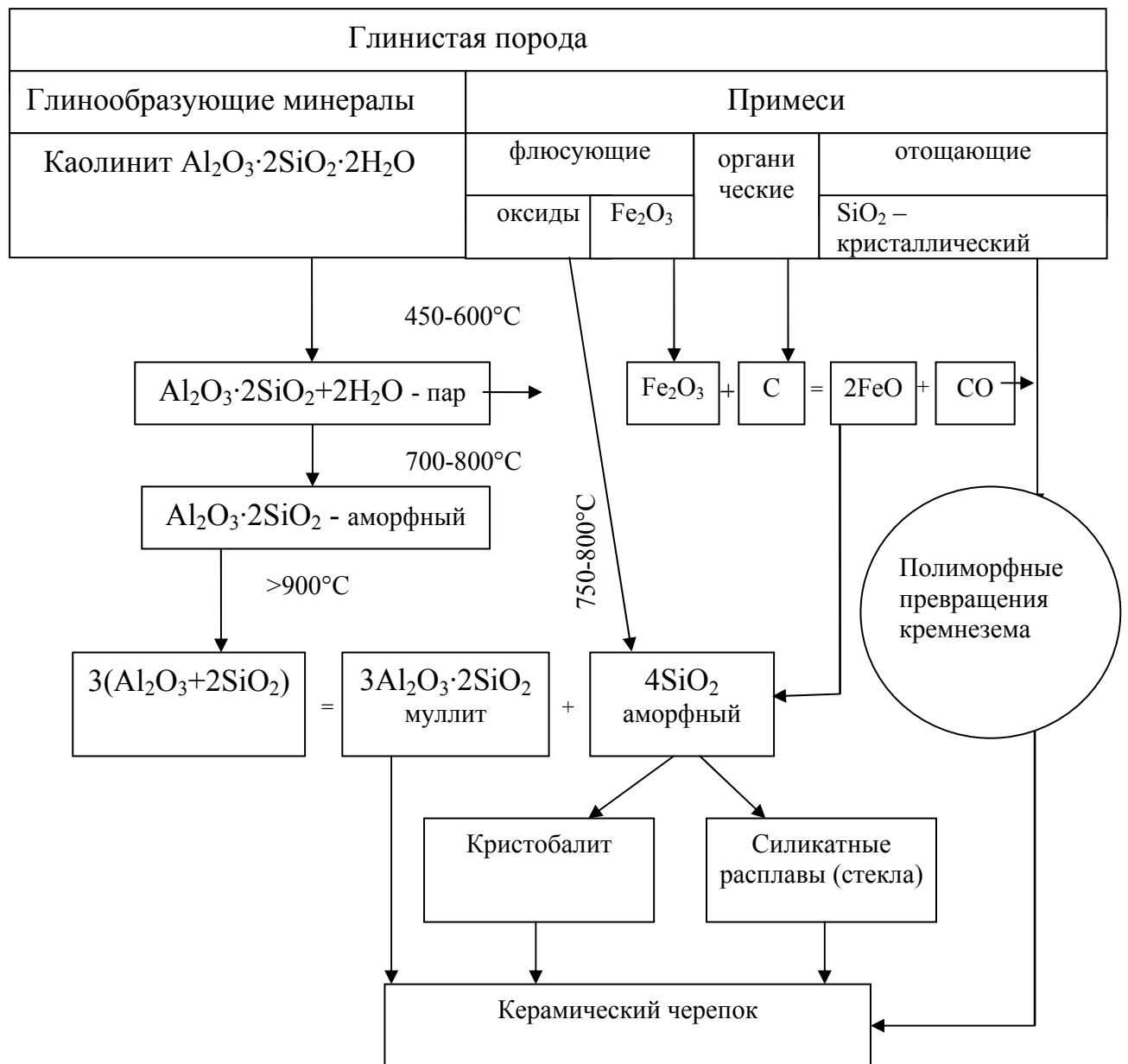


Рисунок 15 – Термические превращения глинистой породы

Огнеупорность зависит от химического состава. Al_2O_3 повышает огнеупорность. Тонкодисперсный SiO_2 понижает ее. Крупнозернистый песок, не принимая участия в образовании жидкой фазы, но, снижая содержание тонкодисперсных оксидов, повышает огнеупорность. Щелочные оксиды, образующие низкоплавкие эвтектики с SiO_2 , являются сильными плавнями (флюсами) и снижают огнеупорность. Щелочноземельные оксиды CaO , MgO флюсующее действие оказывают уже при более высокой температуре. Оксид железа снижает огнеупорность глин при обжиге в восстановительной среде, так как образующаяся FeO реагирует с SiO_2 с образованием фаялита $2FeO \cdot SiO_2$ с температурой плавления 1205 °С.

Спекаемость глин. Механизм твердо- и жидкофазного спекания. Влияние газовой среды на спекаемость глин. Интервал спекания и интервал спекшегося состояния. Классификация глин по спекаемости.

Спекаемость – способность глин уплотняться при обжиге с образованием твердого камнеподобного черепка. Спекание может проходить как за счет реакций протекающих в твердой фазе, так и при участии жидкой фазы. В начале протекает твердофазное спекание, обусловленное взаимной диффузией ионов оксидов и характеризующееся небольшой скоростью. Повышение температуры обжига приводит к появлению жидкой фазы (в гидрослюдистых глинах при 700-900 °С), в которой растворяется ряд оксидов и минералов. Затем из жидкой фазы выкристаллизовываются новые минералы. Таким образом, процесс минералообразования протекает через жидкую фазу, которая также интенсифицирует протекание диффузионных процессов.

Результатом спекания является уплотнение обжигаемого материала, уменьшение его пористости. Степень спекания контролируется водопоглощением черепка. Спекшимся считается черепок с водопоглощением не более 5 %. Чрезмерное повышение температуры может привести к пережогу, для которого характерна деформация образца, видимое вспучивание или снижение средней плотности более чем на 0,05 г/см³.

По степени спекаемости различают три группы глинистого сырья:

- 1) сильноспекающееся - при обжиге даёт черепок без признаков пережога с водопоглощением не более 2 %;
- 2) среднеспекающееся – водопоглощение не более 5 % (от 2 до 5 %);
- 3) несспекающееся – водопоглощение более 5 %.

Указанные значения водопоглощения должны наблюдаться не менее чем в двух температурных точках с интервалом 50 °С.

Глины подразделяют на 3 группы еще и по температурам спекания:

- 1) низкотемпературного спекания – $t_{\text{спек}}$ до 1100 °С;
- 2) среднетемпературного спекания - $t_{\text{спек}} = 1100-1300$ °С;
- 3) высокотемпературного спекания - $t_{\text{спек}}$ более 1300 °С.

Количественно степень спекаемости глин характеризуют температурным интервалом спекания и интервалом спекшегося состояния.

На графике, приведенном на рисунке 16, точка А соответствует температуре начала спекания глины t_a , т.к. с этой температуры начинается резкое уменьшение водопоглощения; в точке В водопоглощение становится равным 5 % - величине, ниже которой начинается область спекшегося состояния; в точке С отмечают признаки пережога (оплавление либо вспучивание). Температурный интервал t_c-t_a – температурный интервал спекания, а t_c-t_b температурный интервал спекшегося состояния.

В практике пользуются понятием “интервал спекания”. Для глин легкоплавких равен $\Delta t_{\text{сп}}=t_{w=1} - t_{w=5}$, для огнеупорных $\Delta t_{\text{сп}}=t_{\text{ог}} - t_{w=2}$, где $t_{w=5}$, $t_{w=2}$ и $t_{w=1}$ – температуры, при которых черепок приобретает водопоглощение 5, 2 и 1 % соответственно.

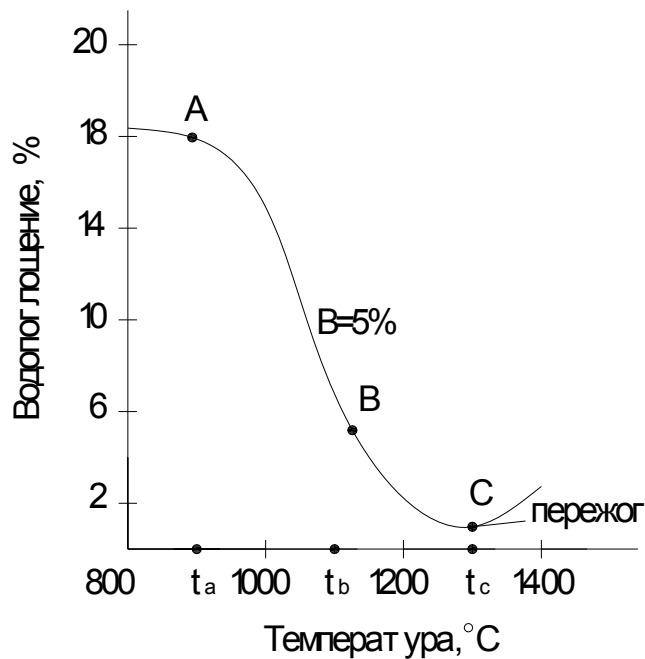


Рисунок 16 – Зависимость водопоглощения от температуры обжига

У каолиновых глин интервал спекания выше, чем у монтмориллонитовых. Щелочи расширяют его, а запесоченность сужает. Он равен 50-100 °C для легкоплавких и до 400 °C для огнеупорных.

Газовая среда оказывает определенное воздействие на спекаемость глин. Ранее упоминалось, что в восстановительной среде наблюдается переход Fe_2O_3 в FeO , образующего легкоплавкие эвтектики, улучшающих спекаемость и снижающих температуру спекания.

Огневая усадка. Механизм ее возникновения и зависимость от состава глин.

Огневая усадка – сокращение размеров абсолютно сухого глиняного образца при его обжиге. Она возникает в результате сближения глинистых частиц, под воздействием сил поверхностного натяжения, носителем которого является образующийся расплав.

Механизм стягивающего действия сил поверхностного натяжения можно проследить на прилагаемой схеме.

При появлении между двумя зернами капли расплава с вогнутыми менисками, она начинает под действием сил поверхностного натяжения растекаться по поверхности зерен.

Равнодействующая сил поверхностного натяжения P_k (сила капиллярного давления) растягивает каплю, сближая тем самым частицы.

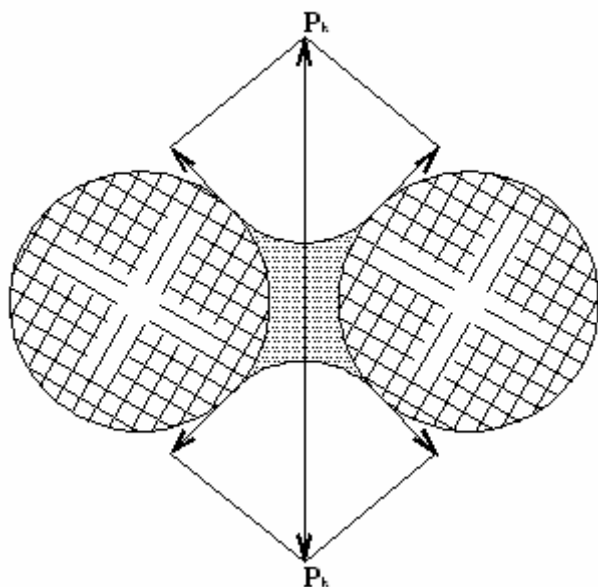


Рисунок 17 - Схема действия сил поверхностного натяжения, обуславливающих огнеую усадку

Величина огневой усадки $Y_{ог}$, % определяется по формуле:

$$Y_{ог} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \cdot 100, \% \quad (33)$$

где l_1 и l_2 линейные размеры абсолютно сухого и обожженного образцов.

Огневая усадка глин колеблется в пределах 2-8 %, но иногда достигает 14 %. Повышение содержания глинистых частиц увеличивает огнеую усадку. Монтмориллонитовые глины обладают большей, по сравнению с каолинитовыми, усадкой. K_2O , Na_2O и Fe_2O_3 (но Fe_2O_3 лишь в восстановительной среде) повышают усадку.

3 Технология керамических стеновых материалов

Керамические строительные материалы – материалы, получаемые обжигом керамической массы, состоящей из глинистого сырья и добавок, и используемые в строительстве.

Классификация керамических строительных материалов.

Основной принцип классификации строительных керамических изделий – по структуре черепка: различают изделия с пористым и спекшимся черепком и изделия грубой и тонкой керамики.

Для пористых изделий характерно водопоглощение черепка превышающее 5 % (такой черепок обычно пропускает воду). Изделия со спекшимся черепком имеют водопоглощение менее 5 % (такой черепок водонепроницаем).

Изделия грубой керамики обладают черепком, имеющим в изломе зернистое строение (макронеоднородный), например, кирпич, черепица и т. д. Для изделий тонкой керамики характерен излом черепка макрооднородного строения. Этот черепок может быть как пористым – фаянсовые облицовочные плитки, так и спекшимся – санитарно-технический фарфор, плитки для полов.

Изделия со спекшимся черепком при водопоглощении менее 1 % называют каменными керамическими, при просвечиваемости этих изделий их называют фарфором.

Следующий принцип классификации – по конструктивному назначению. В этом случае различают:

- стеновые изделия – кирпич, керамические камни и изделия из них;
- фасадные изделия – лицевой кирпич, фасадные облицовочные плитки, архитектурно–художественные детали, наборные панно;
- изделия для внутренней облицовки стен – глазурованные плитки и фасонные детали к ним (карнизы, уголки, пояски);
- плитки для облицовки пола;
- изделия для перекрытий – балки, панели, специальные камни;
- кровельные изделия – черепица;
- санитарно-технические изделия – умывальники, ванны, унитаза;
- дорожные изделия – клинкерный кирпич;
- изделия для подземных коммуникаций – канализационные и дренажные трубы;
- теплоизоляционные изделия – панели из керамзитобетона, ячеистая керамика, диатомитовые и шамотные легковесные изделия;
- заполнители для бетонов – керамзит, аглопорит.

3.1 Разновидности керамических стеновых материалов

К керамическим стеновым материалам относятся: керамический кирпич и керамические камни.

Керамический кирпич, согласно ГОСТ 530-2007 [15], - искусственный камень, имеющий форму параллелепипеда размерами, в мм: 250x120x65 -

одинарный, 250x120x88 – утолщенный, 250x120x140 – камни, отформованные из глинистого либо кремнеземистого сырья с добавками либо без них и затем обожженный. ГОСТ 530-2007 предусмотрены изделия и других размеров. Средняя плотность кирпича и камней может изменяться в широком диапазоне – от 800 кг/м³ и менее и до 1400 кг/м³ и более. Для снижения массы кирпича и камней их изготавливают с пустотами. Изделия могут выпускаться как с вертикальными, так и с горизонтальными пустотами. В качестве стеновых материалов используют изделия с вертикальными пустотами.

Керамическими камнями называют керамические изделия конструктивного назначения, имеющие размеры, превышающие габариты кирпича. Выпуск всех стеновых материалов приводят к одному показателю, так называемому "условному кирпичу" – одинарному кирпичу стандартных размеров. Доля кирпича в общем балансе стеновых материалов достигает 40 %.

Условное обозначение керамических изделий должно состоять из: названия вида изделия, обозначения вида изделия в соответствии с таблицей 2 ГОСТ 530-2007; букв Р - для рядовых, Л - для лицевых; обозначения размера в соответствии с таблицей 2 ГОСТ 530-2007; обозначений: По - для полнотелого кирпича, Пу - для пустотелого кирпича; марок по прочности и морозостойкости; класса средней плотности и обозначения стандарта.

Примеры условных обозначений.

Кирпича рядового (лицевого), полнотелого, одинарного, размера 1НФ, марки по прочности М100, класса средней плотности 2,0, марки по морозостойкости F50:

Кирпич КОРПо (КОЛПо) 1НФ/100/2,0/50/ГОСТ 530-2007

Кирпича рядового (лицевого), пустотелого, одинарного, размера 1НФ, марки по прочности М100, класса средней плотности 1,4, марки по морозостойкости F50:

Кирпич КОРПу (КОЛПу) 1НФ/100/1,4/50/ГОСТ 530-2007

Кирпича рядового (лицевого), пустотелого, утолщенного, размера 1,4НФ, марки по прочности М150, класса средней плотности 1,4, марки по морозостойкости F50:

Кирпич КУРПу (КУЛПу) 1,4НФ/150/1,4/50/ГОСТ 530-2007

Камня рядового (лицевого), размера 2,1НФ, марки по прочности М150, класса средней плотности 1,2, марки по морозостойкости F50:

Камень КР (КЛ) 2,1НФ/150/1,2/50/ГОСТ 530-2007

3.2 Свойства керамических строительных материалов

Требования, предъявляемые к керамическим стеновым материалам, определяются условиями их эксплуатации и приводятся в ГОСТ 530-2007 [15].

Важнейшие свойства.

Водопоглощение керамических изделий косвенно характеризует величину их пористости, степень спекания. От водопоглощения зависят такие эксплуатационные свойства керамических материалов, как морозостойкость, паро- и воздухопроницаемость, сцепление с раствором, загрязняемость и т.д. Колеблется в пределах 1–30 %; для рядового кирпича и камней – не менее 6 %, а для лицевых – не менее 6 % и не более 14 %.

Предел прочности при сжатии. Имеет решающее значение для изделий стеновой керамики. Предел прочности при сжатии для керамических изделий – 7,5–70 МПа (для кирпича и камней - марки М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300; для крупноформатных камней - М35, М50, М75, М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300; для кирпича и камней с горизонтальными пустотами - М25, М35, М50, М75, М100).

Предел прочности при сжатии пустотелых изделий определяют с учетом их "рабочего" положения в стене. Общую разрушающую нагрузку делят на площадь брутто (т.е. без вычета пустот) [22].

Предел прочности при изгибе. Предел прочности при изгибе кирпича регламентируется ГОСТ 530-2007 в связи с тем, что в стене он испытывает не только сжимающие, но и изгибающие нагрузки, вследствие неровностей своей поверхности. Его значения составляют 1,4–4,4 МПа.

Морозостойкость - способность материала выдерживать попеременное замораживание и оттаивание без разрушения и значительной потери прочности. Морозостойкость керамических изделий определяется наличием в них пор, их количеством и размером, т.к. поры заполняются водой и при замораживании ее, образующийся лед, увеличиваясь в объеме, может вызвать разрушение изделий.

С точки зрения морозостойкости поры могут быть разделены на опасные, безопасные и резервные.

Опасные заполняются водой на холоде. Вода удерживается в порах при извлечении материала из воды и замерзает при температуре минус 15–20 °С. Диаметр пор 1–200 мкм (кирпич пластического формования) и 0,1–200 мкм (кирпич полусухого прессования).

Безопасные поры не заполняются на холоде водой, при температуре минус 15–20 °С вода в них не замерзает, т.к. в этих порах (очень малого размера) она становится пристеночной, адсорбированной влагой, имеющей температуру замерзания ниже минус 20 °С.

Резервные – при насыщении на холоде полностью заполняются водой, и она из них частично вытекает при извлечении из воды, вследствие малых капиллярных сил. Размер их более 200 мкм.

Керамический материал морозостоек, если в нем объем резервных пор достаточен для компенсации прироста объема замерзающей воды в опасных порах.

Морозостойкость кирпича может быть оценена по его структурной характеристике, рассчитываемой по формуле

$$C = \frac{V_p}{V_{on} - V_p} \cdot 100, \% \quad (34)$$

где C – структурная характеристика материала;

V_p и $V_{оп}$ - объем резервных и опасных пор, см^3 , соответственно.

При $C < 9$ – кирпич неморозостоек. Пустотелые изделия неморозостойки при $C < 6$. По морозостойкости керамические изделия подразделяются на марки F25, F35, F50, F75, F100. Для лицевого кирпича минимальная марка F50, но по согласованию с потребителем допускается марка F35.

Кирпич считают морозостойким, если после определенного числа циклов попеременного замораживания и оттаивания водонасыщенных образцов [21] на них не наблюдается каких-либо видимых признаков повреждений или разрушений (растрескивание, шелушение, выкрашивание, отколы).

Теплопроводность. Определяется средней плотностью керамических материалов, составом, видом и размером пор. Значительно возрастает с увеличением их влажности, т.к. теплопроводность воды ($\lambda = 0,58 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) выше, чем у воздуха ($\lambda = 0,029 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$). При замерзании воды в порах теплопроводность материала еще более возрастает, т.к. λ льда = $2,33 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, в то время как у абсолютно плотного керамического черепка $\lambda = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$.

Паропроницаемость. С ней связана долговечность строительных конструкций, т.к. в многослойных стенах неодинаковая паропроницаемость отдельных слоев стены может вызвать накопление влаги в ее толще, последующее ее замерзание и отслаивание части стены. При низкой паропроницаемости наблюдается отпотевание внутренней поверхности стен в зданиях с повышенной влажностью. Поэтому не рекомендуется полная фасадная облицовка стен глазурованными плитками. Коэффициент паропроницаемости плиток полусухого прессования с водопоглощением 8,5 %, 6,5 % и 0,25 % соответственно равен 0,155; 0,0525 и 0,029 $\text{г}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$. Определяется количеством пара, проходящего в единицу времени через единицу площади и единицу толщины тела при определенной разности давления с обеих сторон испытываемого образца.

Средняя плотность кирпича и камня в зависимости от класса средней плотности должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 6.

Теплотехнические характеристики изделий оценивают по коэффициенту теплопроводности кладки в сухом состоянии. Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии в зависимости от группы изделий по теплотехническим характеристикам приведен в таблице 7.

Толщина наружных стенок пустотелого кирпича и камня должна быть не менее 12 мм, крупноформатного камня - не менее 10 мм.

Диаметр вертикальных цилиндрических пустот и размер стороны квадратных пустот должен быть не более 20 мм, а ширина щелевидных пустот - не более 16 мм.

Таблица 6 - Классы средней плотности изделий

Классы средней плотности изделий	Средняя плотность, кг/м ³
0,8	До 800
1,0	801-1000
1,2	1001-1200
1,4	1201-1400
2,0	Св. 1400

Таблица 7 - Группы изделий по теплотехническим характеристикам

Группы изделий по теплотехническим характеристикам	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии λ , Вт/(м·°С)
Высокой эффективности	До 0,20
Повышенной эффективности	Св. 0,20 до 0,24
Эффективные	Св. 0,24 до 0,36
Условно-эффективные	Св. 0,36 до 0,46
Малоэффективные (обыкновенные)	Св. 0,46

Размеры горизонтальных пустот не регламентируют.

Для камня допускаются пустоты (для захвата при кладке) площадью сечения, не превышающей 13 % площади постели камня.

В 1970 году выпуск керамических стеновых изделий в СССР составил 32,3 млрд. шт. условного кирпича, а в 1975 году должен был достичь 36 млрд. шт., в 1978 году – более 30 млрд. шт.

3.3 Требования к сырью, применяемому для изготовления стеновых керамических изделий

Изделия стеновой керамики изготавливаются на основе легкоплавных глин и добавок.

3.3.1 Глины

Для производства стеновой керамики пригодны легкоплавкие глины с большим диапазоном гранулометрического и химического состава (область приемлемых составов рассматривалась нами ранее при изучении глин). По пластичности наиболее пригодны умереннопластичные глины с числом пластичности $\Pi = 7-15$; малопластичные - число пластичности менее 7, плохо формуются. Для лицевых – число пластичности не менее 10, пустотелых - 15–25; при числе пластичности более 15 глины отличаются повышенной чувствительностью к сушке и требуют ввода отошающих добавок. Содержание каменистых включений (частицы более 2 мм) в глинах – не более 10 %. Огневая усадка, обычно, - не более 3 %, интервал спекания, как правило, - не более 50°C.

При надежных методах обезвреживания крупных известковых включений (тонкое дробление либо шликерное обогащение глины) их содержание в глинах может не ограничиваться.

3.3.2 Добавки

Используется три вида добавок:

- 1) отошающие – понижающие пластичность, воздушную и огневую усадку;
- 2) выгорающие – повышающие пористость и снижающие среднюю плотность кирпича;
- 3) пластифицирующие – повышающие связующую способность глин.

Отошающие добавки: песок, шамот, дегидратированная глина, гранулированный шлак, зола ТЭС и т.д.

Песок используется крупнозернистый, фракция 0,5–2,0 мм. Вводят в количестве 10–25 %. Большое количество песка снижает морозостойкость и прочность кирпича вследствие разрыхления керамического черепка из-за модификационных превращений кварца (изделие теряет звонкость, в нем появляются короткие тонкие волосяные трещины. Плотность различных форм кварца и величина объёмных деформаций ΔV приведены ниже

$$\alpha - \text{кварц}, \gamma_{\text{уд}} = 2,52, \text{ г/см}^3; \beta - \text{кварц}, \gamma_{\text{уд}} = 2,65, \text{ г/см}^3; \Delta v = 15,4 \%$$

Шамот – керамический материал, получаемый обжигом глины при температуре, равной температуре обжига изделий из той же глины. Является более эффективным, в сравнении с песком, отошителем; улучшает формовочные и сушильные свойства глины. Предельная крупность зерен шамота – 2 мм, пылевидная фракция вредна. Шамот изготавливают из боя кирпича путем грубого помола, а на заводах лицевого кирпича готовят в специальных цехах. В последнем случае его ввод достигает 40 %.

Дегидратированная глина – глина, обожженная до температуры, при которой она необратимо теряет часть химически связанной воды и свойство пластичности. Степень дегидратации – 60-85 %, температура дегидратации – 700-750 °С. Максимальная крупность зерен порошка – 1,5-2 мм, содержание фракции около 0,15 мм не более 30-50 %. Улучшает сушильные свойства высокопластичных глин, внешний вид кирпича; прочность кирпича повышается на 1 марку. При использовании дегидратированной глины температура обжига повышается на 30-50 °С.

Отходы керамзитового и аглопоритового производства. Используют уносы пылесадительных камер керамзитообжигательных вращательных печей и возврат аглопоритового производства, представляющие собой глину различной степени дегидратации. Максимальная величина зерен – 2 мм, пылевидная фракция (циклонная пыль) не допускается.

Гранулированный шлак. Он не содержит пылевидной фракции, его лишь подвергают рассеву для удаления фракции более 2 мм.

Выгорающие добавки. Эти добавки при обжиге выгорают либо полностью (древесные опилки, лигнин) либо частично (каменные угли, отходы углеобогащительных фабрик, золы ТЭС).

Древесные опилки улучшают сушильные свойства сырца, повышают его сопротивление разрыву, трещиностойкость. Подобное действие опилок объясняется волокнистым строением их, благодаря которому они армируют глиняную массу. После выгорания опилок в керамическом черепке остаются поры, обуславливающие повышение его водопоглощения и снижение морозостойкости. Опилки вводят в количестве 8-28 % по объему. Опилки предварительно просеивают через сито с размером ячейки не более 8x8 мм.

Антрацит, коксик, каменные угли вводят в глину в количестве 60–80 % расхода топлива на обжиг, что составляет около 2–2,5 % объема глины. Назначение этой добавки – создание восстановительных условий обжига в толще материала, что обеспечивает переход $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ и интенсифицирует процесс спекания и упрочения керамического черепка, способствует более равномерному обжигу. Настолько малая добавка топлива не вызывает повышения пористости кирпича.

Бурые угли вводят также с целью создания восстановительной среды в толще материала. Вследствие частичного удаления летучих горючих веществ до температуры их воспламенения возрастают потери топлива с химическим недожогом. Однако процесс горения топлива происходит более равномерно и в более широком температурном интервале, чем при использовании антрацита, что исключает опасность пережога кирпича. Размер частиц углей всех видов не должен превышать 2 мм.

Отходы углеобогащительных фабрик. Количество отходов по стране (бывшему СССР) достигало 15 млн. тонн в год. Отходы представлены шламом; влажность их в отвалах составляет 10–12 %. Зольная часть отходов близка к составу глин; содержание Al_2O_3 достигает 16 %; теплота сгорания отходов достигает 8400 кДж/кг (1 Ккал ~ 4,2 кДж). Отходы не являются отощителями, т.к. дисперсны, но пластичность глин понижают.

Зола ТЭС оказывают двойное воздействие на кирпич. Во-первых, они являются отошителями, а во-вторых, вследствие наличия в них невыгоревшего топлива – выгорающими добавками. Теплота сгорания их около 12500 кДж/кг. Удельная поверхность около 2000-3000 см²/г. Зола не должна содержать СаО+МgО более 5 %; ППП – не менее 20 %. Ввод золы составляет 15 % и более. Увеличение добавки золы до 50 % позволяет снизить общую массу кирпича до 1250 кг/м³.

Лигнин – тонкодисперсный порошок, отход производства древесного спирта. Является не только выгорающей, но и пластифицирующей добавкой, улучшает формовочные и сушильные свойства глиняной массы. Вводят в количестве 4–15 % в комбинации с другими выгорающими добавками (опилки, уголь).

Пластифицирующие добавки. К ним относят высокопластичные глины, бентониты, ССБ. Добавляют к суглинкам (содержат 12–25 % глинистых частиц) с целью улучшения их формовочных и сушильных свойств.

Высокопластичные глины содержат более 60 % частиц размером менее 1 мкм. Их введение повышает дисперсность глиняной массы.

Бентониты – высокодисперсные глинистые породы с преобладанием минералов монтмориллонитовой группы. Содержание зерен размером менее 1 мкм достигает 85 %. Они более эффективны, чем высокопластичные глины. Добавляют в количестве около 3 % по массе абсолютно сухого вещества. Как бентониты, так и высокопластичные глины вводят в виде шликера влажностью 40-50 %.

ССБ - отход целлюлозного производства. Добавляют в количестве 0,3-0,5 % от массы сухого вещества в виде слабоконцентрированных растворов. ССБ способствует более равномерному распределению влаги и добавок в керамической массе, повышению пластичности.

3.4 Технология керамических стеновых материалов, получаемых способом пластического формования

3.4.1 Добыча, транспортирование и складирование глины

Комплекс операций, связанных с добычей и доставкой глины в производство, называется карьерными работами. В них входят: вскрышные работы, добыча, транспортирование и хранение промежуточного запаса глины.

Тугоплавкие и огнеупорные глины, как правило, являются привозным сырьем и карьер не входит в систему заводов, производящих строительные материалы. Легкоплавкие глины, обычно, являются местным сырьем, и карьер входит в систему предприятия.

3.4.1.1 Вскрышные работы

Вскрышными являются работы, связанные с удалением пустых пород, покрывающих слой полезного ископаемого.

Вскрышной слой мощностью 0,5-1,0 м при расстоянии транспортирования до 100 м удаляют бульдозером, устойчиво работающим даже на тяжелых грунтах и в дождливую погоду. Выработка на машино–смену в зависимости от категории грунта и расстояния транспортирования составляет 65-350 м³.

Вскрыша мощностью более 1 м при расстоянии транспортирования до 1 км на грунтах I-III категории разрабатывается тракторным скрепером. Он неустойчив и малопроизводителен при работе в дождливое время, на плотных грунтах и в заморозки. Выработка на машино–смену: 140-200 м³; расход троса – 4-8 м на 1000 м³ породы.

Мощные вскрышные породы с тяжелыми грунтами при расстоянии транспортирования более 1 км разрабатывают одноковшовыми экскаваторами, а транспортируют автосамосвалами. Выработка на машино–смену 130-380 м³.

Многоковшовые экскаваторы используются для проведения вскрышных работ при значительной мощности вскрышного слоя.

В ряде случаев вскрышные породы удаляются методом гидроэкскавации, сущность которого заключается в том, что порода размывается водой подаваемой под давлением 0,3-0,8 МПа, а иногда 1,2-1,3 МПа, выбрасываемой из гидромонитора со скоростью 50 м/с. Расход воды на 1 м³ породы: для песков – 3-8 м³; суглинков – 5-10 м³, глин – 10-15 м³. Пульпа отводится по трубам либо лоткам в специальные отвалы.

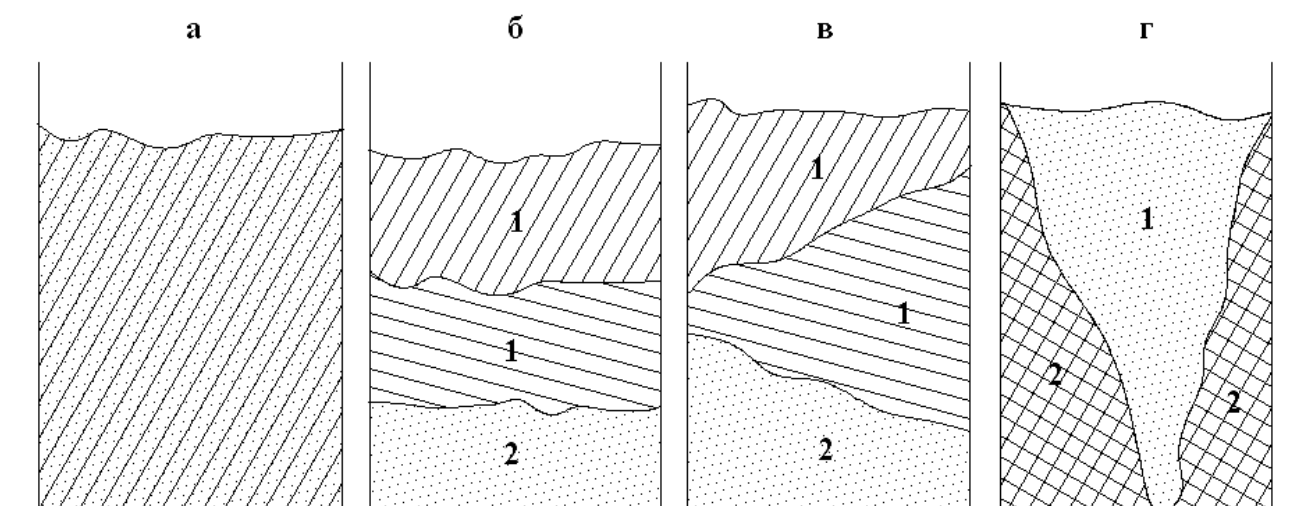
3.4.1.2 Добыча глины

Добыча глины может быть *валовой* – глина разрабатывается сплошным фронтом и *селективной* – глину добывают выборочно отдельными участками или слоями. Выбор способа добычи определяется мощностью глиняного пласта и характером залегания глины. Встречаются следующие разновидности залегания глин: а – однородное; б – послойное с выдержанной толщиной слоев; в – послойное с неравномерным напластованием; г – линзообразное.

В зависимости от вида залегания глин для их разработки используются экскаваторы: много- и одноковшовые, роторные экскаваторы, канатные скреперы.

Многоковшовый экскаватор оборудован ковшовой рамой, по которой перемещаются закрепленные на ленте либо цепях последовательно расположенные черпаки. Ковшова рама может менять свое положение относительно горизонтальной поверхности. При расположении ее ниже линии горизонта (нижнее черпание) экскаватор роет под собой, а выше горизонта (верхнее черпание) – над собой. При нижнем черпании коэффициент заполнителя ковшей на 15-20 % выше, чем при верхнем и производительность соответственно выше.

Роторный экскаватор имеет на конце стрелы ротор, оборудованный черпаковыми ковшами. Выемку породы можно проводить вертикальными слоями (вертикальный ход стрелы) и горизонтальными (горизонтальный ход стрелы).



1 - глина; 2 - пустая порода.

Рисунок 18 – Разновидности залегания глин: а – однородное; б – послойное с выдержанной толщиной слоев; в – послойное с неравномерным напластованием; г – линзообразное

При послойном и особенно неравномерном напластовании глин целесообразно использование многоковшовых экскаваторов, которые обеспечивают интенсивное первичное перемешивание и усреднение глин, т. к. режут её тонкой стружкой по всей высоте фронта добычи.

Многоковшовые экскаваторы более экономичны, нежели одноковшовые и даже роторные. Так нормативная трудоёмкость добычи глины в человеко-часах/м³ – 1,04 многоковшовыми и 0,36 - одноковшовыми. Но многоковшовый экскаватор имеет рельсовый колёсный ход и при их использовании возникает необходимость постоянного сооружения и перекладки рельсового пути, что усложняет разработку; одноковшовые же имеют гусеничный ход и более маневренны. Поэтому использование многоковшовых экскаваторов целесообразно при разработке мощных пластов. Для линзообразно залегающих глин целесообразно использование роторных экскаваторов.

3.4.1.3 Добыча глины в зимнее время

Поступление глины в производство в мерзлом виде недопустимо, т. к. увеличивает нагрузку на глиноперерабатывающие машины, приводя к их поломке, и, что особенно неблагоприятно, к браку изделий, вследствие попадания отдельных кусочков мерзлой глины в керамическую массу.

Существует несколько способов обеспечения потребности керамических заводов в талой глине в зимнее время:

- сохранение тепла массивом глиняного пласта;

- рыхление промерзшего грунта и внесение тепла в замерший массив до его разработки (оттаивание);

- создание запаса глины летом для разработки в зимнее время с хранением ее в утепленных складах.

Существует несколько способов сохранения тепла в грунте:

- мягкое утепление;

- жесткое утепление.

Мягкое утепление. С участка, намеченного на разработку зимой, еще в теплый период года удаляют вскрышной слой, а поверхностный вспахивают на максимально возможную глубину. Затем на участок завозят опилки или другой утеплитель и складывают в штабель. С наступлением заморозков опилки распределяют по поверхности участка для предохранения глины от промерзания. Фронт добытого слоя также утепляют опилками. Глину разрабатывают многоковшовыми и одноковшовыми экскаваторами. Отработанные участки фронта утепляют плитными мягкими переносными утеплителями (соломенные и минераловатные плиты, мешки с опилками и т.д.).

Достоинства способа – малые затраты на утепление карьера; недостатки - работа людей и машин при пониженных температурах.

Жесткое утепление. Представляет собой деревянный настил, сооружаемый из бревен и досок (горбыля). Добычу глины ведут одноковшовым экскаватором, с торца. В торцевой стенке устраивают ворота для проезда транспорта. По мере выработки массива под настил подставляют крепежные стойки. Недостаток – большой расход лесоматериалов.

По такому же типу может быть сооружено покрытие из металлических ферм с утеплителем. Фермы устанавливаются на металлических либо железобетонных стойках, устанавливаемых в специально просверленные в массиве скважины. Этот способ утепления, сохраняя все присущие закрытому способу положительные качества, позволяет сократить расход лесоматериалов.

Оттаивание промерзшего слоя глины осуществляют следующим образом. В теплое время удаляется вскрыша и обнаженную поверхность рыхлят экскаватором на глубину 1,5-1,8 м. Затем завозят бурый уголь и складывают в штабели. Зимой по мере надобности поверхность участка очищают от снега и расстилают уголь слоем толщиной 20-35 см. Затем его поджигают и в течение 2-3 суток он выгорает; при этом слой глины оттаивает на глубину 2-2,3 м. Таким образом сжигание топлива на 3 суток должно предшествовать разработке участка.

3.4.1.4 Транспортирование глины

Приняты два способа подачи добытой глины в производство:

1) наземным рельсовым транспортом, в опрокидывающихся вагонетках емкостью 1-2,5 м³ с мотовозной или электровозной тягой;

2) автосамосвалами.

Большее распространение нашел автотранспорт, т.к. он требует меньших капитальных затрат, обладает большей маневренностью. При пользовании

рельсовым транспортом предпочтение следует отдать электровозной тяге, т. к. мотовозы менее надежны в работе, особенно в зимнее время.

3.4.1.5 Складирование глины

Создание запасов глины на зимний период работы предприятия практикуется при наличии на карьере пласта глины толщиной не более 2,5м, поскольку зимняя добыча настолько маломощного пласта экономически не выгодна, из-за быстрого перемещения фронта добычи и необходимости создания больших площадей утепления. В этом случае целесообразно добывать глину летом и складировать вблизи завода. Глину следует складировать и в том случае, если она добывается зимой в утепленном карьере, но расстояние ее транспортирования превышает 1 км и она промерзает в дороге. И даже в случае отсутствия этих двух упомянутых факторов целесообразно иметь запас глины на заводе, что обеспечивает ритмичность его работы.

Существует ряд типов глинохранилищ: наземный утепленный штабель, котлованный утепленный штабель, двухъярусный штабель, котлованный штабель с подвижным металлическим перекрытием, капитальные глинохранилища.

Открытые котлованы. Имеют ширину 30-40 м, глубину, соответствующую длине стрелы многоковшового экскаватора и длину, рассчитанную в соответствии с нормативными запасами. Стенки имеют откос равный 45°.

В летний период котлован заполняют глиной, осенью утепляют опилками, а зимой вырабатывают. Располагают вблизи приемного отделения предприятия.

Наземные штабели. Намечается и размечается площадка; вокруг нее устраивают водоотводные каналы с надежным стоком воды. Глину завозят на площадку самосвалами, формируют штабель с крутыми откосами для лучшего стока воды. Верхняя поверхность штабеля делается двухскатной для стока воды, т. к. в противном случае глина будет раскисать. Верх и боковые поверхности штабеля утепляют опилками. Разрабатывают многоковшовыми экскаваторами верхнего черпания.

Двухъярусный штабель. Нижний ярус штабеля представляет собой котлован, верхний – наземный штабель со всеми присущими им характерными чертами.

Недостаток котлованных штабелей в том, что они заливаются водой и заносятся снегом, что обуславливает повышенную влажность глины и трудность их переработки.

Капитальные глинохранилища. Представляют собой закрытые сооружения. Они наиболее выгодны по эксплуатационным затратам. Различают по типам механизмов, применяемых для их загрузки и разгрузки. Загрузка осуществляется мостовым грейферным краном, грейфером на монорельсе, ленточным транспортером; выгрузка - мостовым грейферным краном, одноковшовым транспортером.

Лучшие склады - оборудованные мостовым грейферным краном. При доставке глины железнодорожным транспортом через склад проходит эстакада, по которой вагоны заходят в склад и разгружаются.

Капитальные глинохранилища отличаются большой стоимостью сооружения, поэтому они носят характер аварийных складов, для хранения 10–15 суточного запаса глины. Их наличие обеспечивает бесперебойную работу завода при аварийном срыве поставки глины на завод.

3.4.2 Обработка керамической массы

Обработка керамической массы предшествует формованию из нее керамических изделий и имеет целью повысить однородность массы, исключить из ее состава вредные включения, улучшить ее формовочные, сушильные и обжиговые свойства.

Существующие методы обработки объединены в три группы:

- методы естественной обработки;
- методы механической обработки;
- физико-химические методы.

3.4.2.1 Естественная обработка глины

Под естественной обработкой глины понимают использование погодноклиматических факторов и фактора времени для изменения свойств керамической массы. К методам естественной обработки относят вымораживание и вылеживание глины в замоченном состоянии.

Сущность *вымораживания* заключается в вылеживании замоченной рыхлой глины в течение года на открытом воздухе. В течение этого времени глина подвергается многократному замораживанию и оттаиванию, в результате чего вода, замерзая в капиллярах глинистых частиц и увеличиваясь при этом в объеме на 9 %, разрушает связи между частицами, диспергируя их. В конечном счете, это приводит к повышению пластичности и улучшению формовочных свойств глины. Данный способ очень эффективен.

Зумпфование – это вылеживание глины в замоченном состоянии. В данном случае не происходит настолько значительного диспергирования как при вымораживании, но также наблюдаются процессы перехода части воды из свободного состояния в связанное (адсорбционное), переориентация зерен глинистых минералов и дипольных молекул воды с увеличением общей пластической прочности глинистой массы. Это улучшает формовочные и сушильные свойства глины. В летнее время замачивание глины осуществляют в карьере. Для этого фронт добычи делят на 5-6 частей, по длительности вылеживания в сутках. Глину, добытую на данном участке, заливают водой, а в производство подают уже вылежавшуюся глину с другого участка. К этому же участку возвращаются за вылежавшейся глиной через некоторое время после прохождения всего фронта разработки.

После естественной обработки глину подают в производство (зачастую через промежуточный склад) для механической обработки.

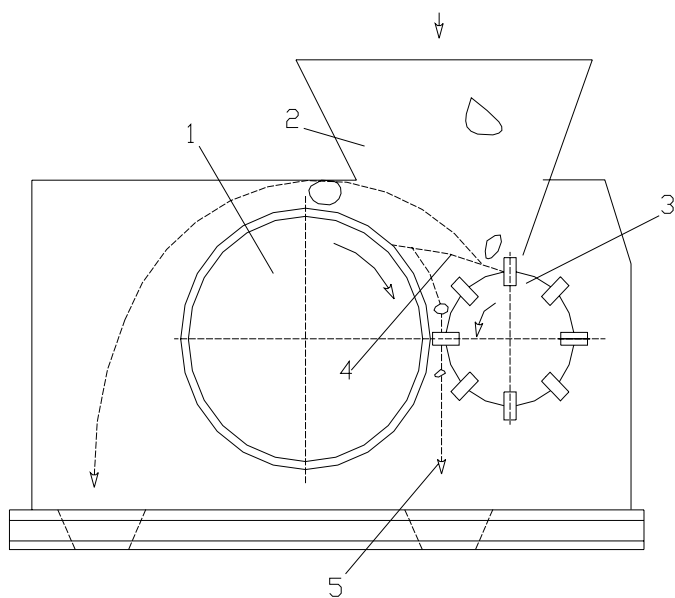
3.4.2.2 Механическая обработка глины

Механическая обработка глины – это такая обработка, при которой свойства керамической массы изменяются в результате механического воздействия на нее рабочих органов глинообрабатывающих машин. При обработке глины осуществляется выделение из нее каменистых включений либо их измельчение, разрушение текстуры глины, гомогенизация массы, что приводит к улучшению ее формовочных свойств.

Выделение каменистых включений осуществляется дезинтеграторными ребристыми вальцами (СМ-150А), винтовыми камневыделительными вальцами (СМ-146А) и двухвалковыми глиномялками (СМ-472).

Дезинтеграторные вальцы выделяют камни размером более 10 мм. Ребра их быстро изнашиваются. Перечисленные факторы обуславливают использование дезинтеграторных вальцов, главным образом, для грубого дробления глин.

Не лучше положение обстоит и с винтовыми камневыделительными вальцами. Они выделяют лишь около 15 % камней от их общего содержания в глине, причем камней размерами 3-10 мм не более 4 %. К тому же с камнями теряются 20-30 % глины.

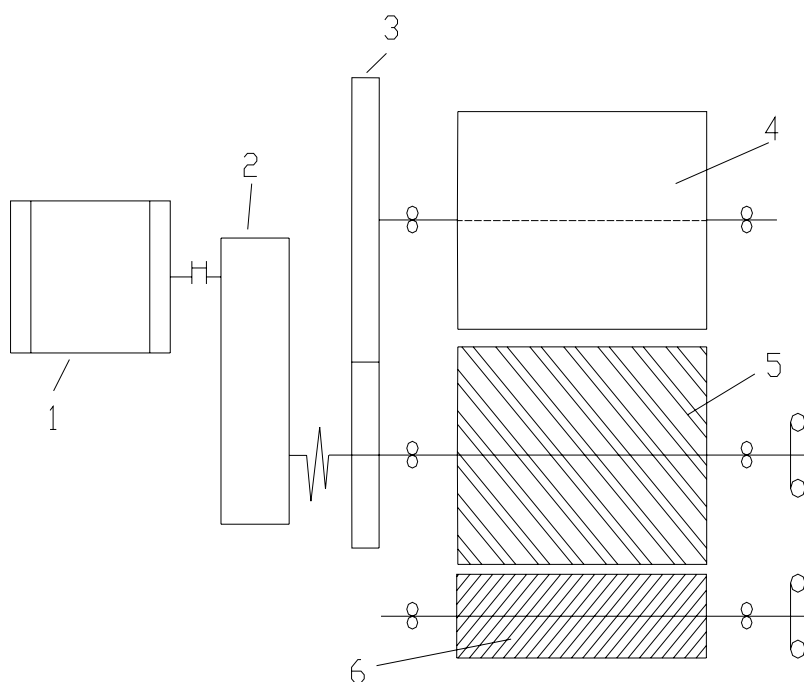


1-гладкий тихоходный барабан; 2-загрузочная воронка; 3-ребристый быстроходный валок; 4-траектория отбрасываемых каменистых включений; 5-траектория движения материала

Рисунок 19 – Ребристые камневыделительные вальцы

Более эффективны глиномялки двухвалковые, оборудованные валками, снабженными расположенными по винтовой поверхности лопастями. Валки заключены в металлический корпус, в который подается подлежащая обработке глина. В разгрузочном конце корпуса находится решетчатая, торцевая стенка, задерживающая крупные включения. По мере накопления включений перед решеткой нагрузка на привод возрастет и в какой-то момент времени он автоматически отключается; решетка сдвигается в сторону и производится автоматическое удаление камней. Затем двигатель включается в работу и обработка глиняной массы продолжается. Подобную конструкцию имеет глиномялка СМ-1238 производительностью 25 м³/ч.

Винтовые камневыделительные вальцы СМ-416 представляют собой два валка, один из которых гладкий, а поверхность другого имеет винтообразную канавку. Зазор между валками около 2 мм, глубина канавки 10 мм. В зазор между валками загружается материал. Каменистые включения попадают в канавку и по ней транспортируются в расположенный сбоку валков лоток для камней. Очистка винтового валка осуществляется специальным винтовым очистным скребком. При попадании камней в зазор между валками они не втягиваются в этот зазор, а скользят по поверхности валков и благодаря наличию винтовой канавки смещаются в сторону разгрузочного конца валков.



1-электродвигатель; 2-редуктор; 3-зубчатая передача; 4-гладкий тихоходный барабан; 5-винтовой валок; 6- очистной скребок

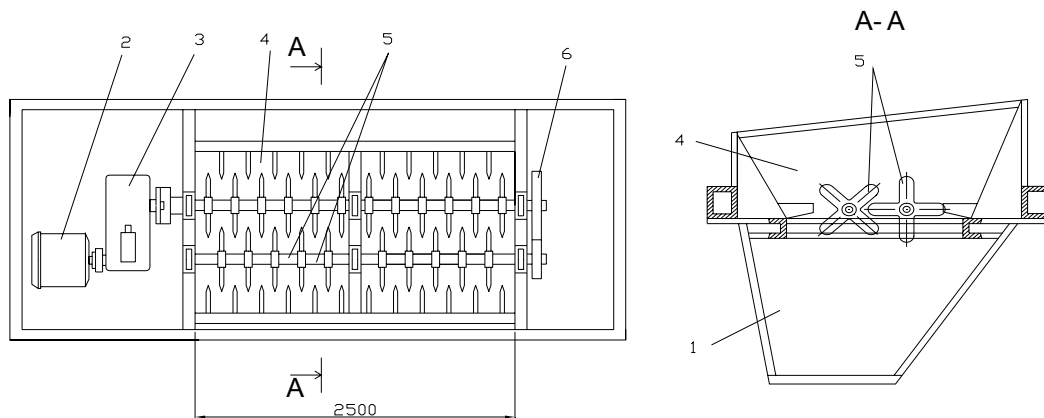
Рисунок 20 - Винтовые камневыделительные вальцы

Наиболее эффективным является выделение камней из глины при гидравлическом ее обогащении. В этом случае глина распускается в шликер и

пропускается через камневыведительную решетку либо дуговой классификатор. Затем шликер сгущается в распылительных сушилках.

После выделения камней глину подвергают грубому измельчению (дроблению). На первой стадии производится рыхление кусков глины в глинорыхлителе. *Глинорыхлитель* установлен над ящичным питателем, представляющим собой конвейер, перемещающий материал на ленте. Рабочим органом глинорыхлителя является горизонтальный вал с билами, равномерно расположенными по окружности. Била при вращении вала дробят комья глины, находящиеся на решетке бункера ящичного питателя, на отдельные куски размером не более 80-100 мм, которые проваливаются затем в бункер над ящичным питателем.

На второй стадии дробления глина измельчается до кусков размером 10-15 мм. Глины, засоренные каменистыми включениями, дробят на *дезинтеграторных вальцах*. Вязкие пластичные глины дробят на гладких вальцах грубого помола. За грубым помолом следует среднее и тонкое, до 1-2 мм, измельчение глины, предварительно увлажненной в глиномялке либо в глиномешалке. Целью тонкого измельчения является максимальное разрушение зерен глинистых минералов, что повышает однородность глиняной массы, пластичность и реакционную способность ее. Тонкое измельчение осуществляется в бегунах, дырчатых и гладких вальцах, глинопротирочных машинах.



1 – корпус; 2 – электродвигатель; 3 – редуктор; 4 – бункер рыхлителя; 5 – валы с билами; 6 – шестеренчатая передача

Рисунок 21 - Двухвальный глинорыхлитель

Наиболее эффективны *бегуны*, т.к. глина в них подвергается многократному раздавливающему и истирающему воздействию катков. Пластическая прочность массы (величина обратная подвижности) после обработки глины на бегунах возрастает при влажности глины меньше формовочной ($W < W_{\phi}$), т.е. масса уплотняется; при $W \geq W_{\phi}$ – пластическая

прочность уменьшается, масса становится более подвижной. Таким образом, на бегунах целесообразно обрабатывать глину с $W > W_{\phi}$, что предопределяет установку перед бегунами глиномялки, в которой производится дополнительное увлажнение глины. Прочность сырца из глины, обработанной на бегунах, возрастает примерно в 2 раза (тиксотропное упрочнение).

Гомогенность глиняной массы контролируют по стабильности прочностных показателей сырца, которую оценивают по коэффициенту вариации $K_{\text{вар}}$. При $W < W_{\phi}$ после обработки на бегунах величина $K_{\text{вар}}$ практически не меняется, а при $W \geq W_{\phi}$ его значение снижается в 2 раза, что означает существенное повышение гомогенности массы, подвергнутой обработке на бегунах при $W \geq W_{\phi}$. С увеличением влажности массы повышается и производительность бегунов. Условием эффективной работы бегунов отвечает

$$\frac{D_{\text{кб}}}{D_{\text{к}}} \geq 7, \text{ при } n \leq \frac{20}{R}, \quad (35)$$

где $D_{\text{кб}}$ – диаметр катка, м;

$D_{\text{к}}$ – наибольший размер куса глины, м;

R – радиус круга катка, равный радиусу окружности, описываемой средней точкой катка по его ширине, м;

n – частота вращения чаши бегунов, об/мин.

Для измельчения также используют *дырчатые вальцы*. Измельчение в дырчатых вальцах приводит к повышению прочности сырца в 1,5 раза. Однако по качеству обработки глиняной массы они уступают бегунам, но благодаря своей компактности они получили широкое распространение.

Валковые дробилки с гладкими валками оборудованы валками, имеющими разные скорости вращения, благодаря чему на измельчаемые частицы действуют усилия сжатия и сдвига. С уменьшением зазора между валками роль усилий сдвига возрастает и, следовательно, увеличивается степень измельчения глинистых частиц. Это приводит к повышению прочности как глиняного сырца, так и уже обожженного кирпича (смотри рисунок 22).

При зазоре между валками около 9-10 мм эффекта практически не ощущается. Рекомендуются каскадная (последовательная) установка 2-3 пар валков с постепенно уменьшающимся зазором от 3-5 до 0,5-0,8 мм. С целью же повышения производительности практикуют параллельную установку нескольких пар валков.

Величина зазора между валками должна находиться в определенной зависимости от диаметра валков. Оптимальное соотношение между ними (относительный зазор) δ/R составляет 0,001-0,003, где δ – величина зазора, R – радиус валка.

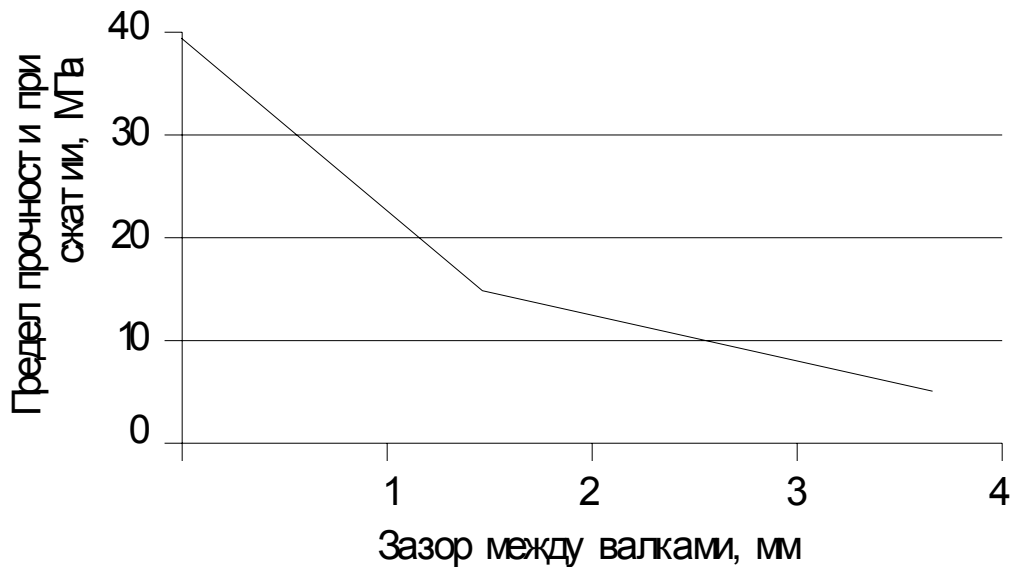


Рисунок 22 – Зависимость прочности обожженных глиняных образцов от величины зазора между валками

Окружная скорость валков достигает 20 м/с, максимальный размер кусков глины, направляемых в валки не должен превышать $0,005D$.

Частота вращения валков подбирается таким образом, чтобы соотношение их окружных скоростей обеспечивало деформацию сдвига слоев глины прилежащих к быстроходному и тихоходному валкам в пределах $S=5-10$ см. Необходимые для этого расчеты проводятся следующим образом

$$\Delta V = V_S - V_T \quad (36)$$

$$\tau = \frac{\pi D \alpha}{360 V_T} \quad (37)$$

$$S = \Delta V * \tau \quad (38)$$

где ΔV – относительная скорость быстроходного валка, м/с, равная разности абсолютных линейных скоростей быстроходного и тихоходного валков $\Delta V = V_S - V_T$, м/с;

τ – время нахождения глины в зазоре между валками, с;

D – диаметр валка, м;

α – угол захвата глины валками, примерно $24^\circ 20'$.

Степень измельчения глины и прочность сырца возрастает с увеличением влажности обрабатываемой глины. Следовательно, целесообразно подавать на обработку глину с влажностью близкой к W_{ϕ} .

После механической обработки глины на ряде заводов практикуется вылеживание ее, во время которого наряду с набуханием глины происходит релаксация (перераспределение, снятие) напряжений, возникших в ней при

механической обработке. Вылеживание зачастую совмещают с прогревом глины. Эти мероприятия позволяют повысить прочность изделий на 20-30 %. Кроме того, создание запаса глины при ее вылеживании в закрытых глинохранилищах на период от 2 недель до 2 месяцев обеспечивает ритмичность работы предприятия, практически исключает случаи аварийного простоя, позволяет организовать работу глиноподготовительного отделения в 1-2 смены.

Глинорастиратели (глиномялки). После тонкого измельчения глина выходит из агрегатов в виде отдельных, несвязных между собой кусочков (лепешки, жгуты). Так как в таком виде ее подавать в формовочный пресс нельзя, то ее подвергают обработке в глиномялках и глинорастирателях с целью получения сплошной гомогенной массы. Глиномялка представляет собой шнековый пресс (труба, в которой размещен винт с переменным шагом, уменьшающимся к разгрузочному концу), уплотняющий глиняную массу при одновременном ее увлажнении водой либо паром. В последние годы появились конструкции глиномялок с протирочной головкой (глинорастиратели), в которых наряду с уплотнением глиняной массы производится ее дальнейшее измельчение. Протирочная головка представляет собой полый цилиндр, дно и боковые стенки которого выполнены перфорированными, т.е. имеющими сквозные отверстия диаметром 8-16 мм.

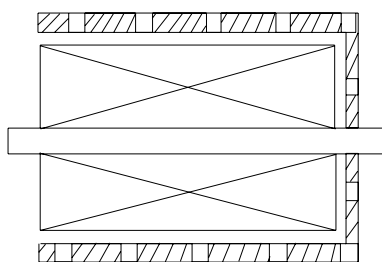
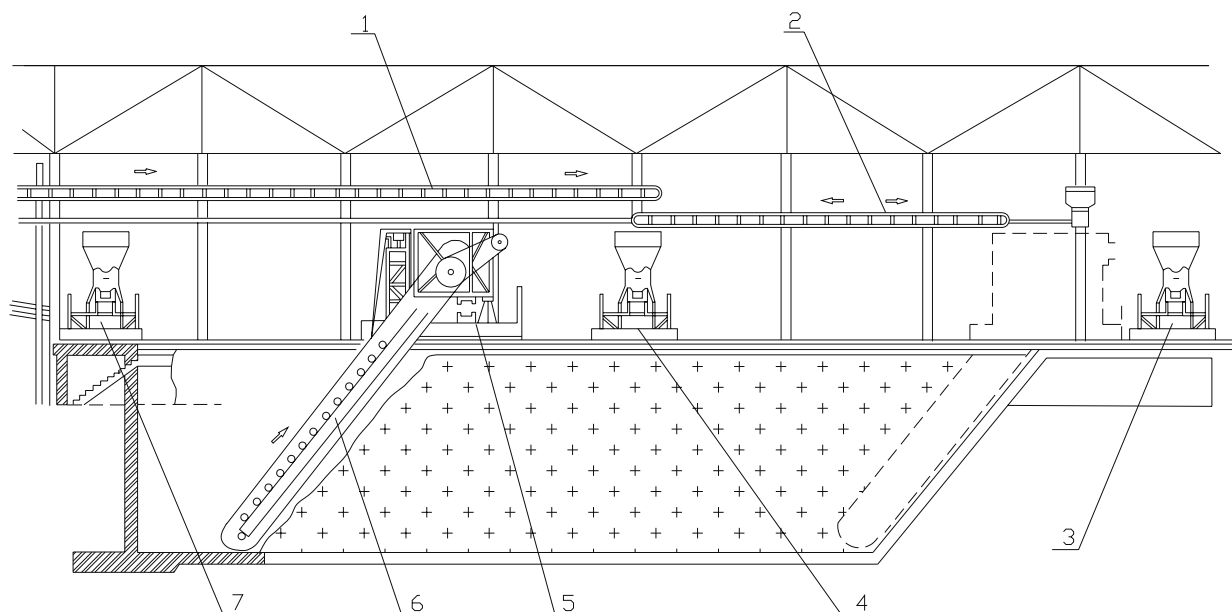


Рисунок 23– Протирочная головка

Внутри цилиндра расположен вал с лопастями, плотно прилегающими к стенкам и днищу цилиндра. При вращении вала лопасти протирают глиняную массу через отверстия. В ряде конструкций вращающимся выполнен цилиндр. Привод протирочной головки (вала либо цилиндра ее) выполнен автономным, что позволяет, не останавливая глиномялки, заменять находящуюся на выходном ее конце протирочную головку по мере забивания ее камнями на очищенную. Прочность высушенных образцов из промятой глины возрастает в 1,5-2 раза за счет повышения подвижности глиняного теста.

На современных заводах с целью повышения качества кирпича керамическая масса после вальцов среднего дробления направляется в шихтозапасник, в котором она вылеживается в течение 7-10 суток. При этом масса становится более однородной по влажности, снимаются внутренние напряжения и, кроме того, наличие шихтозапасника позволяет обеспечить бесперебойную работу формовочного отделения.

Шихтозапасник представляет собой заглубленную железобетонную яму прямоугольного сечения, вдоль которой по обеим сторонам расположены рельсы для перемещения двух загрузочных мостов и одного разгрузочного [6]. Разгрузочный мост находится между загрузочными. Загрузочные мосты работают поочередно. На загрузочный мост керамическая масса подается посредством ленточного конвейера и ленточным конвейером, расположенным непосредственно на мосту распределяется по поперечному сечению шихтозапасника. При перемещении моста вдоль шихтозапасника осуществляется заполнение ямы последнего.



1- ленточный конвейер SMK- 406; 2-подвижный конвейер SMK- 401; 3- исходное положение загрузочного моста SMK - 358; 4- первый загрузочный мост SMK - 358 в работе; 5 - разгрузочный мост SMK- 360; 6- экскаватор моста разгрузочного SMK - 360; 7- второй загрузочный мост SMK - 358 в исходном положении

Рисунок 24 - Схема расположения оборудования для загрузки и разгрузки шихтозапасника

Разгрузочный мост оборудован многоковшовым экскаватором, перемещающимся вдоль моста, и ленточным конвейером. Многоковшовый экскаватор отбирает массу по ширине шихтозапасника и подает ее на конвейер, который в свою очередь сбрасывает массу на ленточный конвейер, расположенный на боковой стенке шихтозапасника. Далее масса направляется в двухвальную лопастную смеситель либо вальцы тонкого помола.

3.4.2.3 Физико-химические методы обработки глиняной массы

К ним относятся увлажнение, вакуумирование, ввод ПАВ и электролитов.

Увлажнение глины может быть однократным и ступенчатым и проводится на различных стадиях технологического процесса подготовки глиняной массы для формования.

При однократном увлажнении вода, в распылённом состоянии, обычно подаётся в глиномялку. Поскольку пребывание глины в глиномялке длится несколько минут, а длительность набухания её 0,5–4 часа, то при таком увлажнении происходит набухание лишь поверхностных слоёв глинистых частиц.

При двухступенчатом увлажнении глины (первый раз при поступлении её в перерабатывающие машины, а второй перед поступлением в глиномялку) время взаимодействия её с водой увеличивается. К тому же переработка увлажнённой массы способствует постоянному обнажению новых поверхностей глинистых частиц для взаимодействия с водой. Это способствует повышению влажностной однородности массы, улучшению её пластических и прочностных свойств.

Увлажнение лучше всего проводить горячей водой и паром. Водяной пар проникает в мельчайшие трещины и поры зёрен глины, конденсируется в них, что способствует дальнейшему диспергированию частиц, повышению пластичности массы. Производительность ленточных прессов при обработке глины паром возрастает на 15-20 %, на такую же величину снижается потребляемая ими мощность.

Увлажнение производят паром низкого давления – 0,05-0,07 МПа (за рубежом – до 1,3 МПа), перегретым на 20-30 °С. Более целесообразно использовать сухой насыщенный пар, однако при его транспортировании из котельной наблюдается частичная конденсация пара в трубопроводах, что понижает его греющую способность и увеличивает расход тепла.

При использовании глины с карьерной влажностью выше формовочной её подогревают с одновременной подсушкой в сушильных барабанах.

Вакуумирование осуществляется в вакуумных винтовых глиномялках. При этом из массы удаляются крупные воздушные включения, и содержание воздуха снижается до 1-3 % (начальное содержание до 9 %). Процесс вакуумирования состоит из трех операций: разделения массы на тонкие жгуты, удаления из них воздуха и затем уплотнения вакуумированной массы в монолитный брус. Для удаления тонкодисперсных включений воздуха в вакуумной камере создаётся более глубокий вакуум (до 700–740 мм рт. ст., обычно 450 – 720 мм рт. ст.), а глиняная масса разделяется на более тонкие ленты. Вакуумирование глиняной массы высокой пластичности и связности протекает с большим трудом, чем глиняной массы с крупнозернистыми отощителями.

Вакуумирование позволяет снизить пористость, улучшить формовочные свойства глины.

Введение ПАВ и электролитов способствует дальнейшему диспергированию глинистых частиц и снижению влажности глиняной массы при сохранении ей подвижности, что способствует снижению тепловых затрат на производство изделий. Механизм их действия рассмотрен ранее.

3.4.2.4 Подготовка добавок

Подготовка *песка* заключается в отсеивании его на ситах с целью отделения крупной фракции, более 2–2,5 мм, и тонкой пылевидной (фракция менее 0,5 мм уже нежелательна). При необходимости песок предварительно высушивают.

Подготовка опилок заключается в просеивании их через сита с отверстиями 8x8 мм.

Угли (каменные, антрацит, бурые) размалывают (дробят) в молотковых или валковых дробилках, а затем отсеивают на сите с размером отверстия равным 3 мм. Подситный продукт используют в качестве выгорающих добавок, надситный сжигают в топках сушильных барабанов и в печах. Целесообразно использовать мелкие фракции углей для приготовления выгорающих добавок. В этом случае уголь предварительно подвергают отсеиванию (на сите 2 мм), а затем дробят крупную фракцию (её остаётся после предварительного отсеивания около 20-30 %).

Комбинированная выгорающая добавка (опилки + уголь) подготавливается по следующей схеме. Опилки подвергаются отсеиванию на сите. Затем опилки вместе с углем через дозаторы подаются в вертикальную молотковую дробилку и после дробления направляются в расходный бункер. По такой схеме добавки подготавливаются централизованно для нескольких заводов сразу.

Шамот, как правило, является отходом производства. Его дробят в щековой, а затем молотковой дробилках и просеивают на сите с размером отверстия 3 мм. Используется подситный продукт. При производстве лицевого кирпича, когда расход шамота достигает 40 %, его производят на отдельной технологической линии.

Дегидратированную глину подготавливают путём обжига мелких гранул. Гранулирование глины осуществляют различными способами в зависимости от её свойств. Обжиг проводят во вращающихся печах, печах кипящего слоя, на агломерационных машинах. Поскольку температура обжига низка и спекания между гранулами не происходит, то последующий процесс дробления (в случае хорошо подготовленных гранул) исключается.

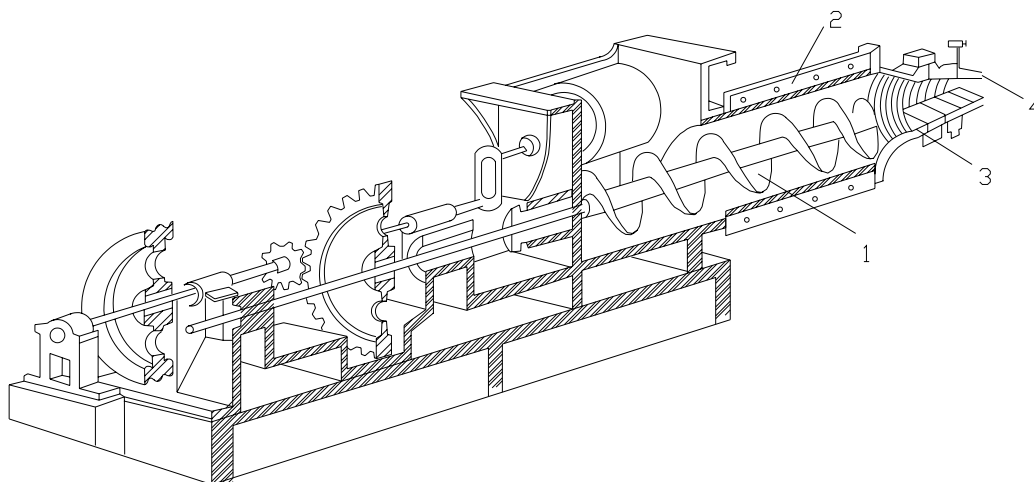
Отходы углебогатительных фабрик. При завозе их в летнее время и хранении в закрытых складах, где они и подсыхают, исключается необходимость сушки отходов. По мере необходимости их дробят, размалывают и вводят в глиняную массу в виде порошка.

Бентонит вводят в виде шликера влажностью 40–50 %. Приготовление шликера осуществляют в горизонтальных механических мешалках, хранение осуществляют в расходных вертикальных бассейнах, оборудованных пропеллерными мешалками.

3.4.3 Формование изделий из пластических керамических масс

На формование подаётся масса пластической консистенции, для которой характерна большая величина когезии (сил внутреннего сцепления глинистых частиц) по сравнению с адгезией (силами сцепления глинистых частиц с поверхностью других материалов). Следовательно, коэффициент внутреннего трения таких масс больше коэффициента их внешнего трения.

Формование изделий стеновой керамики, как правило, осуществляется на ленточных шнековых прессах, вакуумных [7] либо безвакуумных [2].



1- шнек, 2- корпус, 3- переходная головка, 4- мундштук

Рисунок 25 - Ленточный безвакуумный пресс.

Вакуумные прессы в отличие от безвакуумных имеют вакуумную камеру, в которой происходит вакуумирование массы.

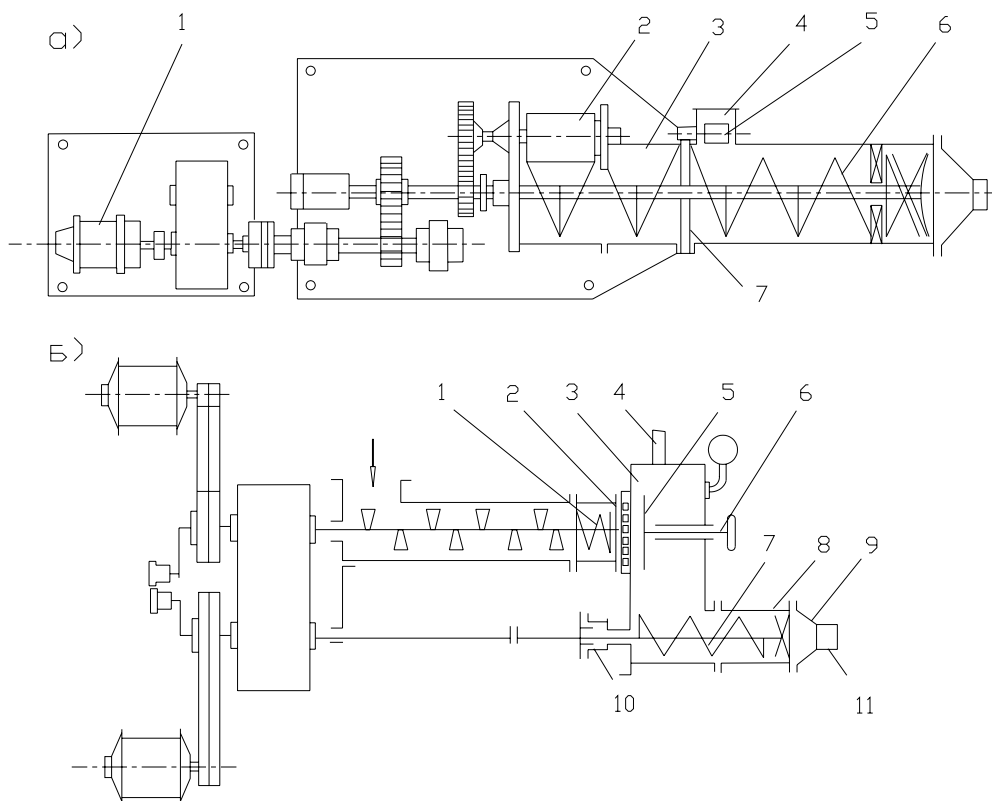
Рабочими органами ленточного прессы являются шнек, корпус, переходная головка и мундштук. Движение массы в прессы из-за винтообразного строения подающего органа – шнека - носит сложный характер и зависит от ряда факторов: влажности, пластической прочности, коэффициента внутреннего и внешнего трения массы, давления, создаваемого шнеком, противодействия, создаваемого головкой и мундштуком.

Глиняная масса при вращении шнека не совершает строго осевого перемещения. За счёт сцепления массы с винтовой поверхностью шнека (обуславливается действием сил внешнего трения) наблюдается также вращательное движение массы. К тому же скорость осевого перемещения массы в корпусе неравномерна: максимальная на периферии (у корпуса) и минимальная у оси винта. В результате перемещаемая масса имеет вид спирали с расслоением в плоскости параллельной оси винта.

На выходе масса разрезается выпорной лопастью шнека на две спирали и в таком виде поступает в головку прессы, основное назначение которой сгладить пульсирующее действие шнека, выровнять поля давления и скорости

по сечению массы. Коническая форма головки способствует уплотнению массы и устранению её расслоения.

При недостаточной липкости массы и противодействия, создаваемого головкой и мундштуком, может не произойти полного срастания двух потоков, и в сформованном изделии возникает S-образная трещина, чётко проявляющаяся при сушке и обжиге.



а) 1 – электродвигатель; 2 – вдавливающий валок; 3 – камера предварительного прессования; 4 – вакуум-камера; 5 – ограничительный валик; 6 – шнек; 7 – дырчатая перегородка;

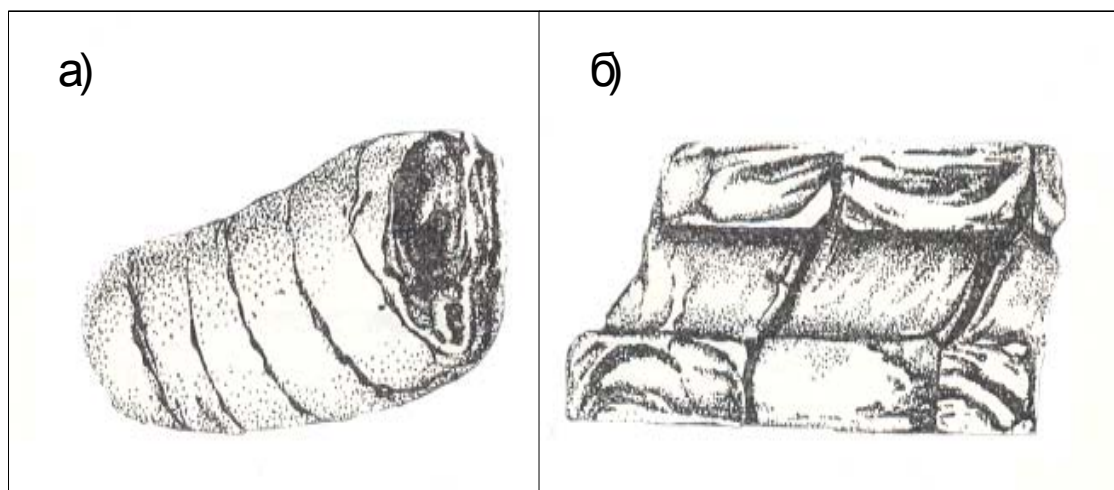
б) 1 – лопастной винт; 2 – решетка; 3 – вакуум-камера; 4 – труба; 5 – крыльчатка; 6 – вал; 7 – прессующий шнек; 8 – корпус пресса; 9 – головка пресса; 10 – сальник; 11 – мундштук

Рисунок 26 - Схемы ленточных шнековых вакуум-прессов

а) с дырчатой перегородкой и камерой предварительного прессования в одном цилиндре; б) с дырчатой перегородкой и камерами предварительного прессования и вакуумирования вверху

Кроме того, в головке пресса масса, по-прежнему, частично сохраняет наряду с осевым перемещением и вращательное движение, имеющее максимальную величину у стенок. Вращательное движение периферийных слоёв керамической массы приводит к их отстаиванию от центральных при перемещении в осевом направлении. Центральные слои опережают

периферийные, что приводит к возникновению напряжений сдвига и появлению дефектов в сформованных изделиях.



а - спираль глиняной массы, извлеченной из корпуса пресса; б - характер расслоения глиняной массы в корпусе пресса

Рисунок 27 - Масса, находящаяся в корпусе ленточного пресса

Пульсирующий характер работы шнека, частичное сохранение вращательного движения массой, различная скорость перемещения массы в осевом направлении, в конечном итоге, приводят к тому, что даже в головке масса не является сплошным массивом, а представляет собой последовательное напластование полых конусов, вложенных друг в друга.

Такая структура керамической массы приводит к образованию «свилей» в кирпиче, т.е. образованию спиральных трещин на постели кирпича.

Таким образом «свилей» - следы эллипсоидных, плохо сросшихся во время формования напластований. Они ухудшают качество кирпича, понижают его трещиностойкость в процессе сушки и обжига кирпича, снижают прочность и морозостойкость. Склонность керамической массы к свилеобразованию описывается зависимостью [12]

$$C_{св} = f\left(\frac{P_{пр}, f_{внш}}{f_{внт}, C, L}\right), \quad (39)$$

где $P_{пр}$ - давление прессования;
 $f_{внш}, f_{внт}$ - коэффициент внешнего и внутреннего трения;
 L - липкость (прилипаемость), определяемая адгезионными свойствами двух приведённых в контакт однородных глиняных слоёв;
 C - сцепление (связность), характеризует когезию.

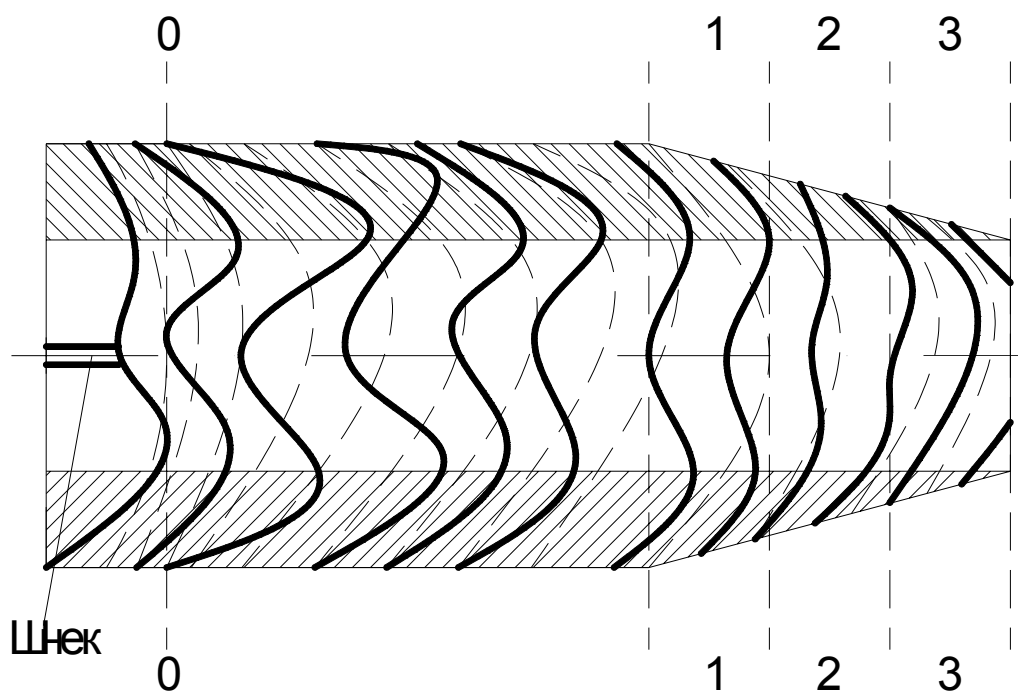


Рисунок 28 - Схема деформации пластичной керамической массы в формующей части ленточного пресса

Для борьбы со свилеобразованием используется ряд мероприятий:

- отощение глины крупнозернистым отощителем, увеличивающим коэффициент внутреннего трения. Крупные зёрна армируют глиняную массу, препятствуя проскальзыванию одних слоёв её относительно других. Добавка мелкозернистого песка вредна, т.к., не увеличивая $f_{внт}$, она снижает связность, повышая склонность массы к разрыву сплошности;

- паровое увлажнение глины. Снижает требуемое $P_{пр}$ и увеличивает липкость (способность массы восстанавливать нарушенную сплошность);

- увеличение влажности массы. Хотя оно и сопровождается снижением связности, однако снижает склонность к свилеобразованию вследствие более значительного повышения липкости;

- уменьшение внешнего трения $f_{внш}$ путём ввода ПАВ и орошения мундштука водой;

- удлинение головки пресса вставкой промежуточного кольца длиной 100-200 мм между корпусом и головкой. Это мероприятие позволяет повысить сцепление разъединённых в корпусе напластований;

- снижение зазора между лопастями шнека и корпусом пресса до 2-3 мм. Позволяет исключить обратный пристеночный переток массы и снизить склонность к свилеобразованию;

- снижение частоты вращения шнекового вала (не более 32 об/мин), что позволяет снизить $P_{пресс}$, а следовательно, и склонность к свилеобразованию.

Производительность и удельный расход энергии на формование зависят не только от структурно-механических свойств формируемой массы, но и от соотношения размеров рабочих органов пресса и режима его работы.

Рекомендуется выдерживать соотношение площади поперечного сечения корпуса $F_{ц}$ и формуемого изделия $F_{и}$ в пределах:

$$\frac{F_{ц}}{F_{и}} = 2 - 6 \quad (40)$$

Характер внутренней поверхности корпуса пресса оказывает определённое влияние на его производительность. При гладкой поверхности производительность пресса резко падает вследствие вращения массы вместе со шнеком и может дойти до нулевой, т. е. осевое перемещение массы прекратится.

С целью предотвращения проворачивания массы поверхность корпуса выполняется рифленой. Рифы предотвращают проворачивание массы, не мешая осевому ее перемещению.

Длина головки составляет 150-300 мм; при формовании глин, не склонных к нарушению сплошности длина головки может составлять 50 мм.

Для тощих керамических масс головки короткие.

Оптимальная частота вращения шнека пресса определяется по максимальной удельной производительности пресса и минимальному удельному расходу энергии.

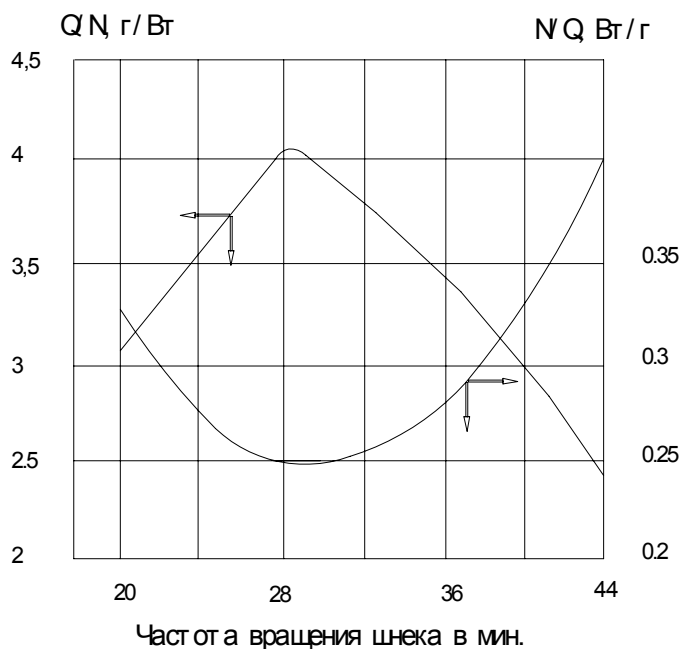


Рисунок 29 – Влияние числа оборотов шнекового вала на удельную производительность Q/N и расход энергии N/Q ленточного пресса

Конусность и площадь поперечного сечения мундштука влияют на давление истечения. Рекомендуются мундштуки следующих размеров:

- 200-300 мм, уклон стенок не менее 8 % - малопластичное сырье;
- 220- 260 мм, уклон стенок 6-8 % - среднепластичное сырье;

- 200- 240 мм, уклон стенок 4-6 % - высокопластичное сырье, но головка длиннее.

Оптимальные параметры мундштука подбирают по номограмме, приведенной на рисунке 30, исходя из определяемого по ней давления прессования. Давление прессования определяют следуя ключу: φ (конусность стенок мундштука, %) $\rightarrow l$ (длина мундштука, см) $\rightarrow r_2$ (гидравлический радиус, см) $\rightarrow \mu_{эфф}$ (эффективная вязкость, кПа·с) $\rightarrow V$ (скорость истечения, см/с) $\rightarrow P_{прес}$.

При расчете размеров выходного отверстия мундштука необходимо учитывать воздушную и огневую усадку глины и упругое расширение керамической массы, выходящей из мундштука. Размеры выходного сечения мундштука

$$l = l_1 \left(1 + \frac{Y_{общ}}{100}\right) - l_{уп}, \quad (41)$$

где l – длина или ширина выходного отверстия мундштука, мм;

l_1 – длина или ширина обожженного изделия, мм;

$Y_{общ}$ – общая усадка, %;

$L_{уп}$ – упругое расширение сформованных изделий, мм (приблизительно 1-2 мм).

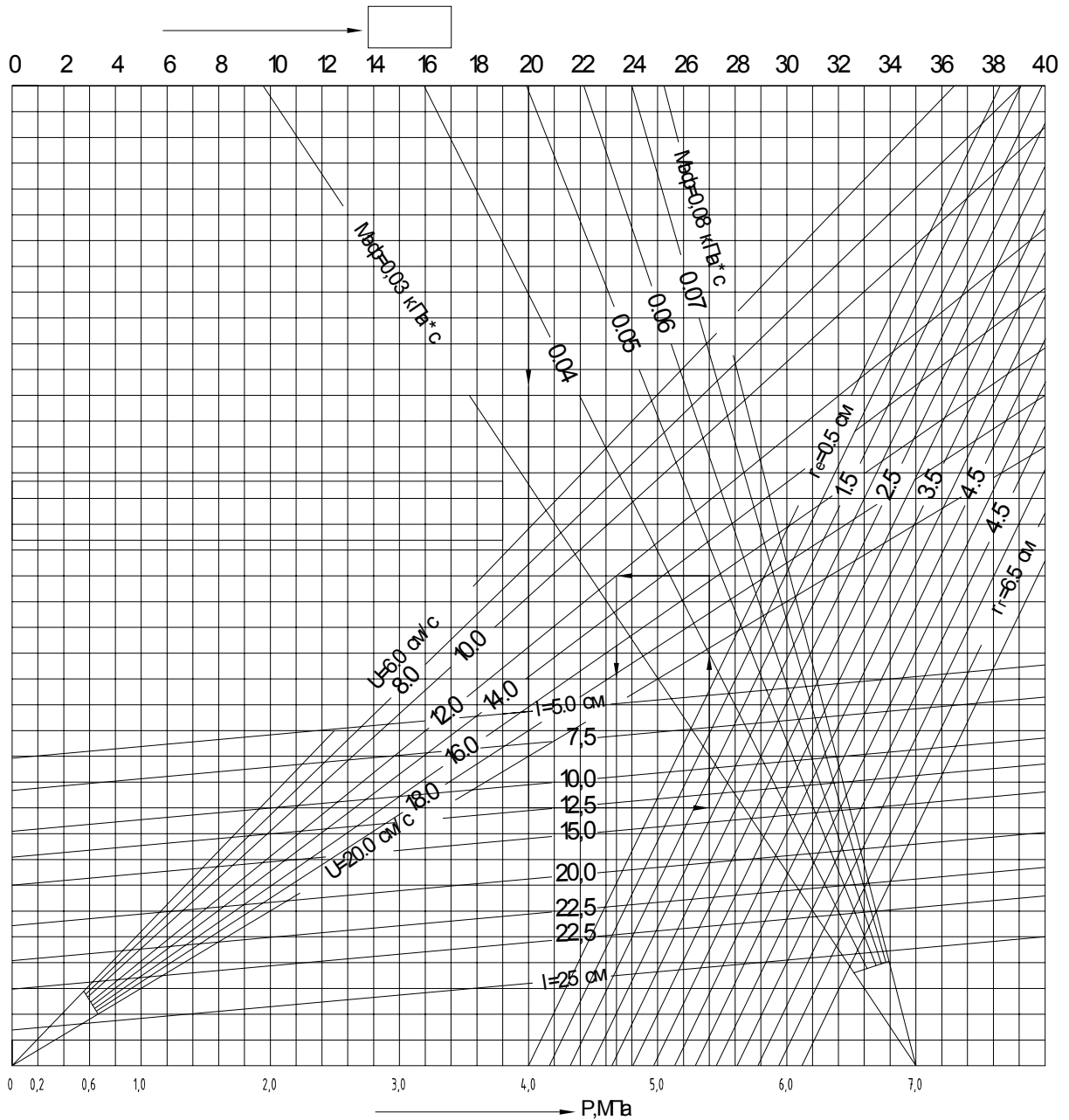
После выхода глиняного бруса из мундштука он разрезается на отдельные кирпичи (блоки) с помощью специальных резательных устройств, режущим органом которых является металлическая струна.

Для разрезания бруса на отдельные изделия используют автомат однострунной резки. Но поскольку работа шнекового пресса характеризуется пульсирующим характером истечения массы из мундштука, то толщина изделий непостоянна и может превышать нормируемые допуски по этому параметру.

На современных кирпичных заводах резка бруса осуществляется на автоматах многострунной резки, работающих совместно с автоматом однострунной резки. На первом этапе от бруса, выходящего из мундштука пресса, отрезаются мерные куски размером около 1 м, которые затем обгонным конвейером передаются на автомат многострунной резки. Автомат многострунной резки представляет собой агрегат, основными узлами которого является рама и упор с гидроприводом. На раме натянуты вертикальные струны, расстояние между которыми соответствует заданной толщине кирпича-сырца.

При попадании бруса на автомат многострунной резки упор приводится в действие и продавлиывает брус через струны. При этом получают изделия строго заданной толщины. Поскольку автоматом однострунной резки брус отрезается заведомо большей длины, чем это необходимо для получения определенного количества кирпичей-сырцов, то крайние куски бруса, имеющие меньшую толщину, чем кирпичи-сырцы, удаляются конвейером возврата на

повторную переработку и присоединяются к керамической массе, поступающей из шихтозапасника.



P – прессовое давление, в МПа; φ – конусность стенок, в %; l – длина мундштука, в см; r – гидравлический радиус, в см; $\mu_{эф}$ – эффективная вязкость, в кПа·с; U – скорость истечения, в см/с

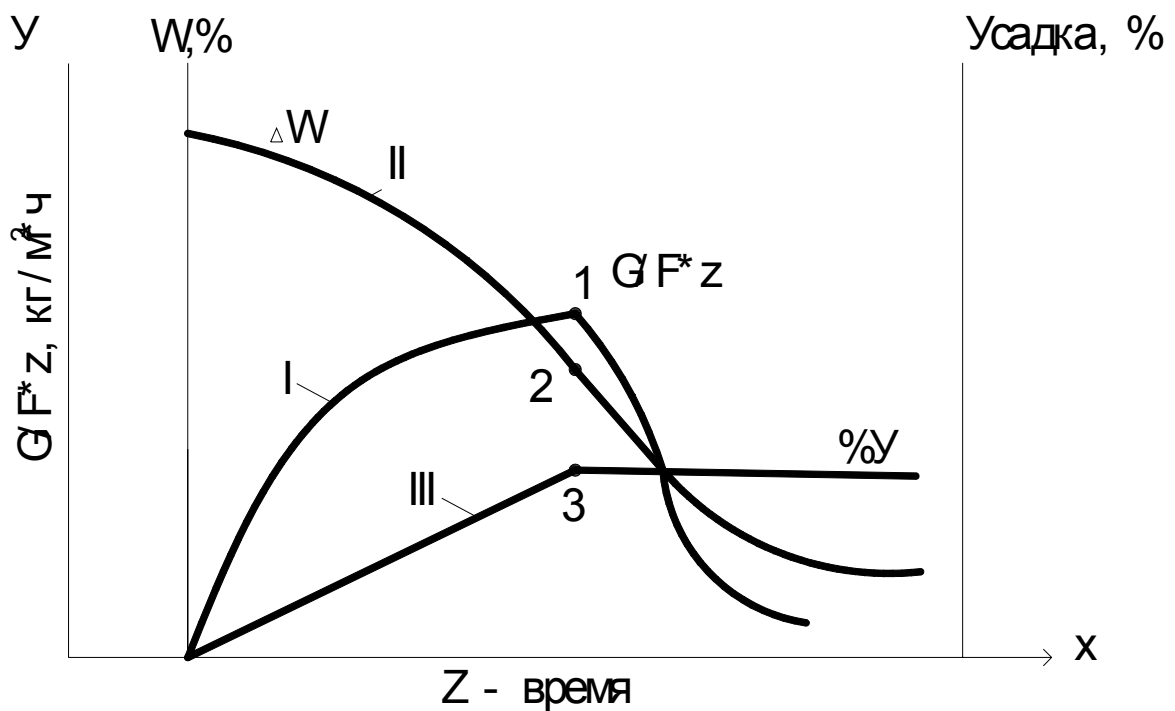
Рисунок 30 – Номограмма для определения удельного давления формования

3.4.4 Сушка керамических изделий пластического формования

3.4.4.1 Основы теории сушки сырца

Сырце, поступающий на сушку, имеет влажность около 20- 26 %. По окончании сушки его влажность не должна превышать 5 % (может составлять 6-10 %). При проведении сушки следует стремиться к сокращению времени сушки, сокращению затрат и получению полуфабриката высокого качества – с отсутствием коробления, трещин, скрытых напряжений, обуславливающих появление трещин при обжиге.

Процесс сушки протекает в 3 этапа: вначале влага в виде жидкости перемещается к поверхности изделия (внутренняя диффузия); затем влага испаряется (внешняя диффузия) и зеркало испарения уходит во внутрь тела сырца; в последней фазе наблюдается унос влаги окружающим сырце теплоносителем за пределы сушильного пространства. Процесс сушки сырца может быть представлен графически.



I – кривая скорости сушки; II – кривая потерь влаги; III – кривая усадки.

Рисунок 31 - Кинетика процесса сушки

На графике вдоль оси «х» отложено время «z», а вдоль оси «у» - скорость сушки G/FZ (G – количество удаляемой воды, кг; F – площадь поверхности испарения, m^2), изменение влажности образца (кривая потерь влаги ΔW) и величина изменения усадки – U .

Точка 1 на кривой скорости сушки называется критической, она делит кривую на участок постоянной скорости сушки и участок падающей скорости сушки.

Точка 2 соответствует перелому на кривой потери влаги, т.е. замедлению скорости сушки.

Точка 3 соответствует прекращению усадки на кривой усадки.

Сушка сырца, предшествующая достижению этих точек на кривых, протекает за счет удаления так называемой «усадочной» воды. Глина достигшая этого состояния (точек 1, 2, 3) содержит воду «пор и капилляров». Частицы глины соприкасаются друг с другом, чем и объясняется прекращение заметных усадочных явлений при дальнейшей сушке. Количество воды пор у пластичных глин достигает 10-20 % (у каолинитов 25-30 %). При дальнейшей сушке вода испаряется из капилляров, «зеркало испарения» перемещается в глубь изделия, поверхность изделия светлеет. Вода испаряется за счет внутренней диффузии, сольватные оболочки ссыхаются. Остаточная влажность может достигать 0,2-1,0 %, но, как правило, такая степень сушки не нужна, т.к. изделия затем будут поглощать гигроскопическую влагу из воздуха. Поэтому влажность высушенного сырца для изготовления строительной керамики колеблется в пределах 6-10 % (в зависимости от влажности помещения).

Процесс сушки может быть описан уравнениями внутреннего и внешнего влагообмена. Рассмотрим эти уравнения и проведем их анализ.

Плотность потока влаги внутри материала γ описывается следующим уравнением [11]

$$\gamma = a_m \cdot \rho_0 \cdot \nabla U \pm a_m^T \cdot \rho_0 \cdot \nabla T + K_p \cdot \nabla P, \quad (42)$$

где a_m - коэффициент диффузии влаги;

ρ_0 - плотность сухого скелета тела;

∇U - градиент влагосодержания;

a_m^T - коэффициент термодиффузии;

∇T - градиент температуры;

K_p - коэффициент молярного переноса влаги;

∇P - градиент давления.

Это уравнение характеризует интенсивность внутреннего влагообмена. Анализируя уравнение нетрудно заметить, что перенос влаги внутри материала обуславливается действием 3-х факторов:

- 1) перепад влагосодержания (изотермическая диффузия);
- 2) перепад температур (термическая диффузия);
- 3) перепад общего давления (конвективная диффузия).

Второй член уравнения отражает «вклад» термодиффузии в общую величину интенсивности потока влаги от центра материала к его поверхности. Знак \pm показывает, что направление градиента температур может быть встречным с направлением потока влаги либо совпадать с ним. В первом случае

термодиффузия замедляет перемещение влаги от центра к поверхности материала, во втором усиливает его.

Приток влаги от центра к поверхности материала может быть осуществлен при отсутствии изотермической диффузии ($\nabla U = 0$), лишь за счет термодиффузии ($\nabla T \neq 0$). Это явление наблюдается в том случае, когда температура материала в его центре выше, чем на поверхности (сушка пароувлажненного кирпича-сырца).

Третий член выражения отражает перемещение влаги из центра материала на поверхность благодаря избыточному давлению внутри материала, возникающему при достаточно высокой интенсивности сушки, когда, образуясь внутри толщи материала, пары не успевают полностью удалиться из него. Избыточное давление может возникнуть уже при температуре около 70°C ; в ряде случаев оно может оказаться достаточным для разрушения материала при сушке (малая прочность и теплопроводность сырца).

Внешняя диффузия, характеризующая плотностью потока влаги от поверхности материала в окружающую среду, описывается уравнением [11]

$$\gamma_n = \alpha_p \cdot (P_{1n} - P_{1c}), \quad (43)$$

где α_p - коэффициент влагоотдачи (влагообмена), отнесенный к разности парциальных давлений, ч^{-1} ;

P_{1c} и P_{1n} - соответственно парциальное давление пара в воздухе и на поверхности материала, Па.

3.4.4.2 Образования сушильных пороков

Основной причиной образования сушильных пороков является дисбаланс между внутренним и внешним влагообменами.

Дисбаланс между внутренней и внешней диффузиями, являющийся следствием большей величины внешней диффузии, обуславливает перепад влагосодержания по сечению сохнувшего изделия. Это, с одной стороны, интенсифицирует внутреннюю диффузию, а с другой приводит к перепаду усадочных деформаций по сечению сохнувшего образца, что является причиной возникновения в сохнувшем изделии напряжений и трещин.

Сушка должна вестись до влажности равной величине равновесного влагосодержания помещения, в котором хранятся высушенные изделия, т.к. при большей степени сушки может произойти частичное разрушение материала вследствие адсорбционного расклинивания его влагой, сорбируемой (поглощаемой) впоследствии из воздуха.

Механизм возникновения сушильных пороков вследствие дисбаланса внутреннего и внешнего влагообмена несложно уяснить при рассмотрении схемы, представленной на рисунке 32 и отражающей распределение влагосодержания в образце прямоугольной формы в период постоянной скорости сушки.

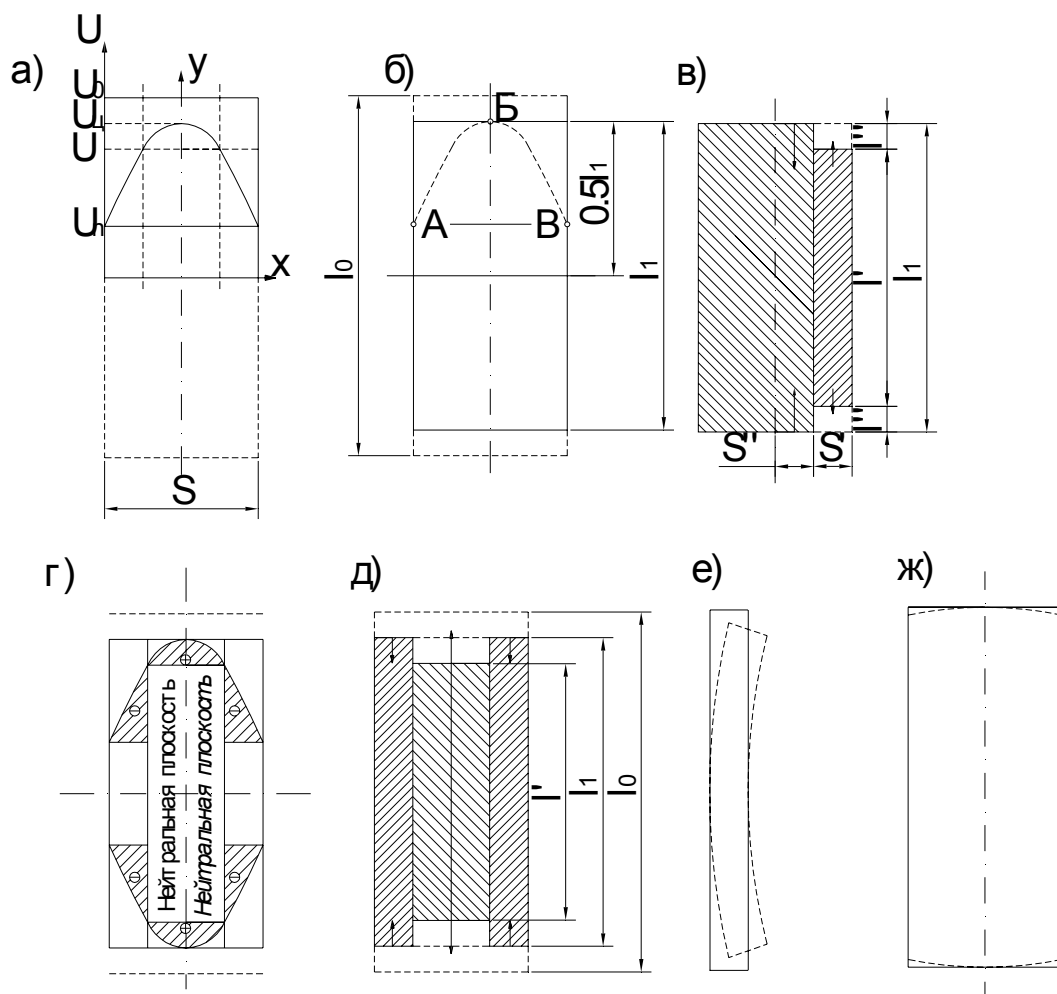


Рисунок 32 - Схема усилий и напряжений, возникающих при сушке изделия

По оси абсцисс отложена толщина кирпича S , по оси ординат его влагосодержание. U_0 – начальное влагосодержание. По истечении некоторого времени после начала сушки, влагосодержание снижается и становится равным U_n на поверхности и $U_ц$ – в центре образца.

Размеры образца сокращаются пропорционально снижению его влагосодержания и в рассматриваемый момент времени становится равным l_1 (до сушки l_0), соответствуя наиболее высокому его влагосодержанию в данный момент – $U_ц$.

Если бы каждый элементарный слой образца мог изменять свой размер независимо от соседних слоев, то образец в соответствии с распределением в нем влагосодержания принял бы форму, очертания которой соответствуют кривой АВВ. Однако в действительности этого не наблюдается, т.к. внутренний слой препятствует усадке более сухих наружных слоев и образец сохраняет прямоугольную форму.

Если представить, что наружный слой образца S' отделен от его основной массы и при сушке может сохраняться независимо от соседнего центрального слоя S'' , то в процессе сушки он в соответствии со своим влагосодержанием принимает размер l' . Но в силу неразрывной связи между слоями подобного

сокращения не происходит, а с каждой стороны образца возникает «недопущенная усадка» $l'' = 0,5(l_1 - l')$, выражающая разницу между длиной элементарного слоя, которую бы он имел при данной влажности и беспрепятственном сокращении и действительной его длиной.

Следствием «недопущенной усадки» является действие растягивающих усилий со стороны слоя S'' на слой S' , стремящихся увеличить его размер от l' до l_1 . Таким образом, действие усадочных сил в поверхностном слое вызывает в нем возникновение растягивающих напряжений, а во внутреннем слое – сжимающих напряжений. Об этом свидетельствует эпюра напряжений в образце, позиция «г». При величине растягивающих напряжений, превосходящих предел прочности образца, на его гранях появятся «сушильные» трещины.

Однако трещины могут образовываться и внутри образца (внутренние трещины). Механизм их образования сводится к следующему. Сокращение размеров изделия прекратится в момент достижения поверхностью влагосодержания, при котором прекращаются усадочные явления. $U_{\text{п}} \leq U_{\text{ку}}$. Изделие, достигнув в этот момент размера l_1 , сохраняет его неизменным при дальнейшей сушке. В это время $U_{\text{п}} > U_{\text{ку}}$. Поэтому внутренние слои, продолжая сохнуть, будут стремиться сокращаться. Если бы они не были связаны с наружными слоями, то, высыхая, они сжались бы до размеров l' .

Однако их свободной усадке теперь препятствуют поверхностные слои, потерявшие уже пластичность, а вместе с ней и способность к усадке. Вследствие этого в центральных слоях возникает «недопущенная усадка» и растягивающие напряжения, в поверхностных же слоях появятся сжимающие напряжения. Результатом возникновения растягивающих напряжений в центральных слоях образца может быть образование внутренних трещин в изделии либо на его плоской поверхности. В кирпиче они проявляются в виде S-образных и свилеватых трещин на постели.

Неравномерная усадка приводит не только к образованию трещин, но и к искривлению изделий, особенно плоских (позиция «е»). При более интенсивной сушке кирпича по продольным граням наблюдается искривление его по торцовым граням (позиция «ж»).

В ряде случаев наблюдается неоднородность испарения влаги с поверхности изделий, приводящая к возникновению напряжений. Неравномерное испарение влаги с поверхности изделия является следствием неоднородного теплообмена изделия с потоком теплоносителя и проявляется в различной степени в зависимости от направления потока теплоносителя по отношению к поверхности изделия.

При движении теплоносителя параллельно поверхности изделия максимальные напряжения возникают на входной кромке изделия, а при движении перпендикулярно поверхности – в центре изделия. Значительные по величине напряжения могут вызвать появление трещин. Снижения величины напряжений достигают за счет уменьшения линейных размеров изделий и увеличения скорости потока теплоносителя. В последнем случае параметры теплоносителя будут более равномерными над всей поверхностью изделия.

3.4.4.3 Режим сушки. Расчет безопасного режима сушки

Оптимальная скорость сушки определяется тем минимальным временем, в течение которого изделие может быть высушено до заданной конечной влажности без коробления, трещин и других пороков. Длительность сушки зависит не только от сушильных свойств материала, но и от параметров омывающей его среды (теплоносителя), важнейшими из которых являются температура, относительная влажность, объем и скорость движения теплоносителя. Сочетание перечисленных параметров и их изменение за время сушки называют режимом сушки.

Начальная влажность сырца колеблется в пределах 20-26 %; прекращение усадки наблюдается при влажности 10-12 %, а при влажности 15-16 % она незначительна. Остаточная влажность сырца – 6-8 %. Исходя из этих условий и свойств глинистого сырья, производится подбор оптимального режима сушки. Существуют 3 пути подбора режима сушки.

Первый путь – метод «попыток». Опробуют несколько режимов сушки и выбирают наиболее оптимальный из них, обеспечивающий минимальную продолжительность сушки. Этот способ наиболее распространен, т.к. наиболее прост, хотя и трудоемок (надо перебрать много способов). Однако он не гарантирует выбора действительно оптимального режима сушки.

Второй путь – расчетный. Расчет производится на основе уравнений, описывающих образование дефектов сушки. Затем экспериментально определяют характеристики материала входящие в эти уравнения, а по ним рассчитывают параметры оптимального режима сушки.

Третий путь – также расчетный. Из дифференциальных уравнений, описывающих процесс образования дефектов в ходе сушки, составляют критерии подобия. Затем экспериментально определяют предельные значения критериев подобия и по ним рассчитывают параметры оптимального режима сушки.

Проводя расчет этим способом (третий путь) определяют, минимальную безопасную продолжительность сушки τ , ч [12]

$$\tau = \frac{(\bar{U}_o - \bar{U}_k) \rho_o V_M}{\gamma F_M}, \quad (44)$$

где \bar{U}_o и \bar{U}_k - средние значения начального и конечного влагосодержания образца, кг/кг;

ρ_o – плотность сухого скелета тела, кг/м³;

V_M – объем изделия, м³;

γ – плотность потока влаги внутри материала, кг/(м·ч);

F – площадь поверхности изделия, м².

Для улучшения сушильных свойств сырца, что способствует интенсификации процесса сушки и повышению трещиностойкости, применяют следующие мероприятия:

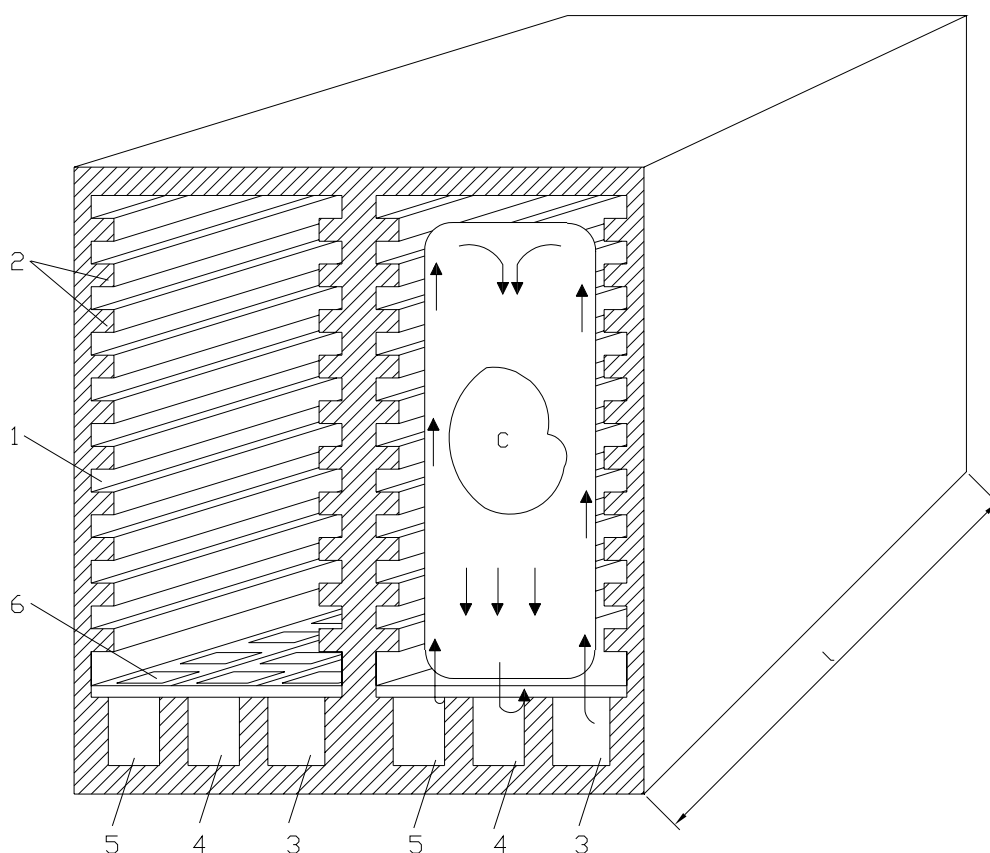
- паровое увлажнение глины. Повышает начальную температуру сырца, что способствует интенсификации сушки за счет термодиффузии влаги из центра сырца. Также предотвращает конденсацию влаги на поверхности сырца, которое имеет место при сушке холодного сырца при обработке его на первом этапе сушки влажным теплоносителем. Конденсация влаги приводит, таким образом, к дополнительному увлажнению сырца и удлинению процесса сушки;
- прогрев глин, имеющих карьерную влажность превышающую формовочную. Оказывает действие подобное паровому увлажнению;
- отощение глин крупнозерными добавки. Снижает усадку, увеличивает коэффициент диффузии;
- добавление в керамическую массу опилок, армирующих и повышающих ее трещиностойкость;
- добавление в керамическую массу 3-4 % гипса, повышающего прочность сырца;
- вакуумирование глины. Способствует повышению прочности и растяжимости керамической массы (сушильные свойства улучшаются, несмотря на снижение, но в меньшей степени коэффициента диффузии влаги);
- накатка сырца. Уплотняет его поверхностные слои, что упрочняет их и снижает коэффициент влагоотдачи. Это в свою очередь способствует снижению перепада влагосодержания по толщине сырца и повышает его трещиностойкость;
- добавление керосина в керамическую массу. Оказывая действие подобное ПАВ, керосин обволакивает частицы глины, переводя часть воды из связанной в свободную и повышая коэффициент влагопроводности;
- добавление высокопластичных глин. Повышает прочность и растяжимость тощих глин;
- рециркуляция отработанного теплоносителя и увлажнение исходного теплоносителя водяными парами. Использование влажных теплоносителей притормаживает интенсивность внешнего влагообмена. К тому же, рециркуляция повышает общее количество теплоносителя, его скорость, а, следовательно, уменьшает неоднородность испарения влаги с поверхности сырца.

3.4.4.4 Искусственные сушилки

Сушка сырца при производстве керамических стеновых изделий осуществляется в туннельных либо камерных сушилках. Камерные сушилки [10] представляют собой ряд камер, соединенных в блоки. Сушка сырца протекает полностью в одной и той же камере.

В *камерные сушилки* загрузка сырца осуществляется на рейках, которые размещают на многополочных (до 10 полок) тележках, оборудованных подъемно-снижающим устройством. Тележки транспортируются на электропередаточных тележках в сушилку от автомата-укладчика сырца. Рейки с сырцом устанавливаются на полки, вмонтированные в боковые стенки сушилок. После сушки и снятия высушенного сырца рейки возвращаются в

накопитель реек, из которого вновь подаются для укладки на них сырца. Рейки представляют собой дюралевые трубки прямоугольного сечения; толщина стенок – 1,5-2 мм, длина – 1300-2000 мм.



1 – камера; 2 – полки; 3, 5 – каналы подводящие теплоноситель; 4 – каналы отводящие теплоноситель

Рисунок 33 - Схема камерной сушилки

Подвод теплоносителя осуществляется через боковые подводные каналы, расположенные вдоль боковых стен камеры и накрытые сверху перекрытиями с отверстиями. Теплоноситель поднимется вверх, а затем опускается вниз, удаляясь по центрально расположенному отводящему каналу. Недостатком этих сушилок является неравномерность сушки сырца, что удлиняет цикл сушки. Для интенсификации внутрикамерной циркуляции теплоносителя и выравнивания неравномерности сушки камерные сушилки оборудуются выносными либо встроенными в стены камер вентиляторами. Распределительные каналы выполняются переменного сечения, что позволяет выравнивать скорость теплоносителя по длине камеры. Длительность сушки – 72-96 ч.

Туннельные сушилки – герметичный туннель, с одного его конца через определенные промежутки времени заталкиваются вагонетки с сырцом, а с другого выталкиваются с уже высушенными изделиями [10]. Вагонетки

перемещаются по рельсовым путям. Сушилка оборудована каналами для подвода и отвода теплоносителя. Как правило, туннельные сушилки работают по принципу противотока с регенерацией теплоносителя, что позволяет создать мягкий, но довольно интенсивный режим сушки. Длительность сушки 16 – 36 часов, иногда до 48 часов. Конечная температура отводимого теплоносителя – 25-30 °С, относительная влажность 75– 95 %, скорость движения теплоносителя в туннеле – 0,8-2,0 м/с. Начальная температура теплоносителя – 150-160 °С.

Однако и при сушке сырца в туннельных сушилках наблюдается неравномерность сушки по сечению туннеля, что обуславливается температурным расслоением газовых потоков.

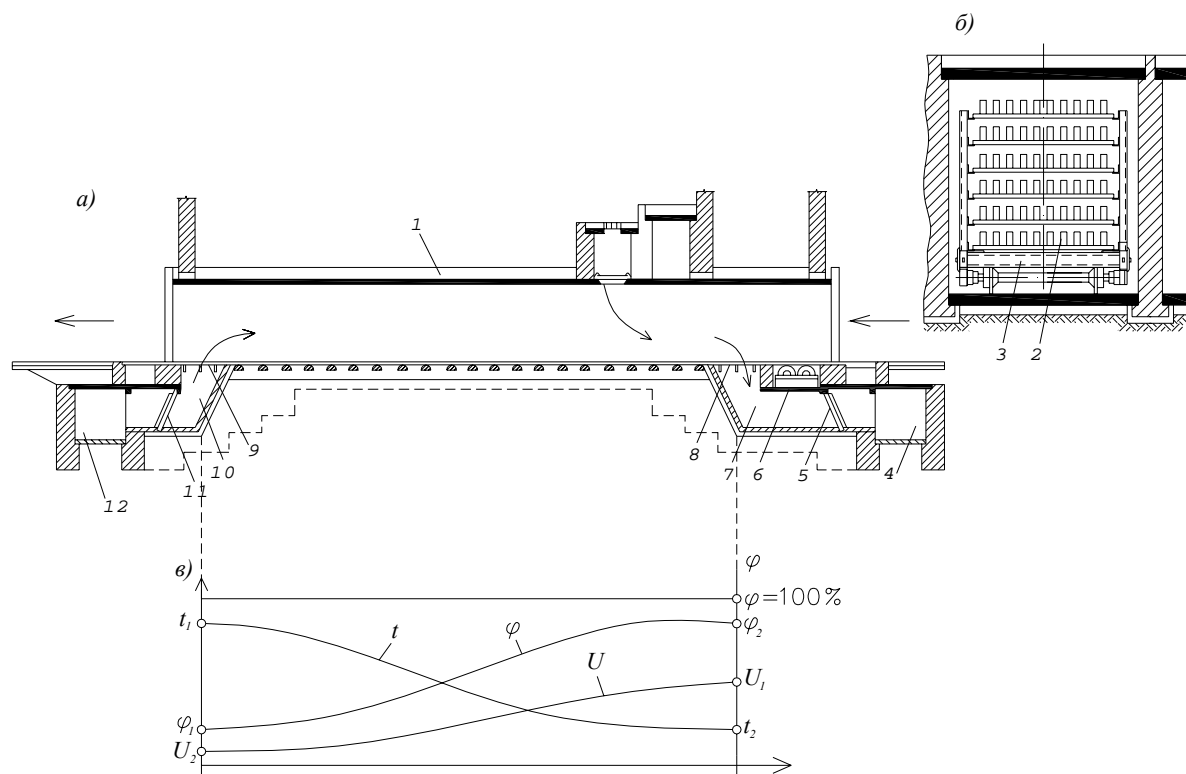
Современные туннельные сушилки характеризуются тем, что в них размещается несколько рельсовых путей, по которым перемещаются сушильные вагонетки. Таким образом удается снизить затраты на сооружение сушилок и упростить процесс управления сушкой. Для обеспечения однородности параметров теплоносителя по поперечному сечению сушилки между основными рельсовыми путями, по которым перемещаются сушильные вагонетки, прокладываются дополнительные рельсовые пути. По этим путям возвратно-поступательно перемещаются вагонетки, оборудованные осевыми вентиляторами, осуществляющими интенсивное перемешивание теплоносителя по поперечному сечению сушилки.

Для интенсификации процесса сушки теплоноситель, подаваемый в разные участки сушилки, должен различаться по своим параметрам. Этого удастся достичь установкой на перекрытии сушильной установки вентиляторов, отсасывающих воздух из зоны охлаждения печи, а также отбирающих его от калориферов и нагнетающих его сверху через патрубки между поездами сушильных вагонеток. Горячий воздух целесообразно смешивать с отработанным теплоносителем, отбираемым из участка загрузки вагонеток, что позволяет увеличить его количество и влажность.

3.4.5 Обжиг кирпича

Процесс обжига является важнейшей технологической операцией в производстве керамических изделий. При обжиге формируются наиболее важные свойства керамических изделий – прочность, плотность и, связанные с ними, водостойкость, морозостойкость и т.д. Качество изделий также определяется главным образом соблюдением оптимального режима обжига (потеря от брака при обжиге могут достигать 10 % себестоимости товарной продукции).

Обжиг оказывает также большое влияние на экономику производства, т.к. затраты на обжиг достигают 30-40 % себестоимости товарной продукции.



1 – туннель; 2 – полки с сырцом; 3 – вагонетка; 4 – сборный канал для отвода теплоносителя; 5, 11 – подъемные заслонки для включения отвода и подвода теплоносителя; 6 – толкатель вагонеток; 7 – канал отвода теплоносителя от туннеля; 8 – отбор отработанного теплоносителя; 9 – подвод теплоносителя; 10 – канал подвода теплоносителя к туннелю; 12 – канал подвода теплоносителя к туннелям

Рисунок 34 - Противоточная туннельная вагонеточная сушилка для кирпича

а – продольный разрез; б – поперечный разрез; в – график температур t , относительной влажности газов φ и влагосодержаний материала U по длине туннеля

3.4.5.1 Физико-химические основы процесса обжига изделий из легкоплавких глин

Процесс обжига строительной керамики может быть разбит на 4 периода:

- 1) подогрев до 200°C и досушка, удаление свободной и адсорбционной воды из глины;
- 2) нагрев до 700°C и удаление химически связанной воды из глины;
- 3) обжиг до $980-1000^{\circ}\text{C}$ - «созревание черепа»;
- 4) охлаждение («закал») – медленное до 500°C и быстрое от 500 до 50°C .

Подобное деление является чисто технологическим и не раскрывает всей сложности процессов, протекающих при обжиге керамики. С точки зрения физической химии можно выделить следующие группы реакций при обжиге строительной керамики:

- выделение гигроскопической (свободной и абсорбционной воды) из глинистых минералов;
- окисление органических примесей (выгорание их);
- выделение конституционной воды, т.е. дегидратация глинистых минералов;
- реакции в твердой фазе (образуется криптокристаллическая фаза);
- жидкофазные реакции и образование стекловидного расплава;
- образование новых кристаллических фаз;
- реакций декарбонизации и десульфуризации.

Удаление гигроскопической влаги не должно проходить слишком интенсивно, т.к. образуется водяной пар, давление которого уже при температуре 70 °С может оказаться чрезмерным и привести к образованию трещин в изделии и частичному разрушению. Режим нагрева должен быть очень мягким и при температуре 250 °С, так как в это время происходит интенсивное выделение адсорбционной воды.

Окисление органических веществ сопровождается экзотермическим эффектом при температуре 300-400 °С. В зависимости от плотности изделия и интенсивности газообмена между поверхностью и центром изделия степень выгорания органики может значительно меняться. При быстром подъеме температуры и недостаточном притоке кислорода во внутрь изделия, органические примеси могут не выгореть (темная сердцевина в изломе изделия). С ростом температуры выгорание органики усиливается (наиболее интенсивно протекает при температуре 780-800 °С), но резко снижается при появлении расплава, т.к. затруднен доступ кислорода. Дегидратация глинистых минералов способствует окислению органических примесей вследствие протекания реакции



Следует отметить, что некоторые авторы [9] считают, что протекание этой реакции наблюдается при температуре более 1200 °С, а при температуре ниже 1000 °С протекает реакция



Но при наличии свободного углерода возможно протекание реакции



Наличие оксида углерода обеспечивает восстановительную среду в толще кирпича.

Но при высоких температурах может наблюдаться восстановление углерода из окиси углерода (обратное направление предыдущей реакции) и осаждение его в толще кирпича в элементарном состоянии



Для наиболее полного окисления органики рекомендуется выдержка при температуре 780-800 °С.

Дегидратация глинистых минералов протекает при температуре 500-600 °С (вплоть до 900 °С для каолинистых глин). В это время черепок является пористым, но, тем не менее, чрезмерное форсирование нагрева изделия в этот период может привести к его взрыву. Формирование керамического черепка протекает главным образом за счет реакций твердофазного и жидкофазного спекания.

3.4.5.2 Механизм образования керамического черепка

Спекание керамического черепка на первом этапе происходит за счет реакций в твердой фазе, протекающих благодаря диффузионным процессам. При этом наблюдается образование муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и кристобалита. Оксид железа Fe_2O_3 при наличии восстановительной атмосферы в толще кирпича и вследствие термической диссоциации переходит в закисную форму FeO , что приводит к образованию железистой шпинели $FeO \cdot Al_2O_3$ и метасиликата железа $FeO \cdot SiO_2$. При восстановительном характере газовой среды наблюдается образование значительного количества фаялита $2FeO \cdot SiO_2$. Наличие в сырьевой смеси $CaCO_3$ приводит к образованию анортита $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

На этой стадии спекания наблюдается объединение отдельных слабо связанных между собой зёрен в прочное пористое тело (скелет черепка). Однако основная роль в спекании принадлежит жидкофазному. Образование микрорасплава наблюдается при температуре более 700 °С. Появление расплава обуславливает огневую усадку изделия вследствие сближения зёрен массы под действием капиллярных сил. Стекловидный расплав разъедает ранее образовавшиеся контакты между зёрнами и частично сами зёрна. Керамическая масса находится в пиропластическом состоянии. Происходит рост новообразований. По достижении определенного количества расплава и степени спекания необходимо переходить к охлаждению изделий, так как чрезмерное спекание может привести к деформации изделий (пережогу).

При охлаждении наблюдается выкристаллизовывание новообразований и срастание их между собой. При температуре 800-780 °С изделия, находящиеся в пиропластическом состоянии, переходят в твердое. Во избежание появления опасных разрушающих напряжений охлаждение в этом интервале следует проводить с малой скоростью. Малая скорость охлаждения должна быть и в интервале 650-500 °С, в котором наблюдается переход $\alpha \rightarrow \beta$ - кварц.

3.4.5.3 Влияние газовой среды на обжиг керамической массы

Восстановительная среда интенсифицирует процессы спекания, понижая их начало на 100-150 °С. Она способствует разложению глинистых минералов и

карбонатов, активирует образующиеся оксиды. Образующаяся закись железа FeO способствует образованию муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ при протекании реакций в твердой фазе, образованию железистых шпинелей и силикатов, интенсифицирующих реакции твердофазного спекания. С кремнеземом SiO₂ закись железа FeO даёт легкоплавкие эвтектики, способствующие раннему образованию расплава. При восстановительном обжиге значительно повышается прочность и морозостойкость изделий. Но при этом имеет место недожог топлива, повышение хрупкости и усадки изделий.

Оптимальным вариантом обжига является восстановительно-окислительный, позволяющий при максимальной температуре 800-900 °С получать изделия большой прочности, меньшей хрупкости, чем при восстановительном режиме и морозостойкостью в 1,5-2 раза превышающей изделия окислительных условий обжига. В этом случае до температуры 500-600 °С поддерживается окислительная среда, при температуре 600-900 °С – восстановительная, а затем вновь окислительная. Восстановительная среда характеризуется избытком кислорода до 1 %, нейтральная – 1,5-2 %, окислительная – 2-5 % (внутри кирпича среда, соответственно, может быть значительно более восстановительной).

3.4.5.4 Режим обжига

Под режимом обжига понимают зависимость между температурой и временем обжига (температурный режим) и между химическим составом газовой среды печи и временем обжига (газовый режим). Обжиг кирпича может длиться примерно 7-8 часов (пустотелых изделий – 6-6,5 часов), не считая времени охлаждения.

В период удаления гигроскопической воды (наиболее опасный период) увеличивается скорость газового потока, температура в печи повышается умеренно, приблизительно на 50-80 °С/час. Влагодотдача с одного кирпича достигает 200 г/ч.

В период дегидратации и начала твердофазных реакций (до 800 °С) температура повышается со скоростью 300 °С/ч (до 400 °С/ч – для пустотелых изделий), среда восстановительная. Выгорание топлива при температуре 800-850 °С проводится в окислительной среде в течение 1-1,5 часов. До температуры 900-950 °С материал нагревается в течение 1,5 часа (0,5-1 ч для пустотелых).

Охлаждение от температуры 900 °С до 750 °С проводится со скоростью 150 °С/ч, т.к. в этом интервале наблюдается переход вязкой стеклофазы в твердую. В интервале 750-600 °С скорость охлаждения - 350-400 °С/ч, а в интервале 600-500 °С - низкая скорость охлаждения (наблюдается переход $\alpha \rightarrow \beta$ – кварц), а затем вновь высокая скорость охлаждения.

3.4.5.5 Печи для обжига кирпича

Обжиг стеновой керамики осуществляется в туннельных, кольцевых и ротационных (фирма «Индастриас Пардинас») печах. В кольцевых обжигают пока ещё значительное количество стеновых материалов, но они повсеместно вытесняются туннельными.

Кольцевые печи [2] представляют собой печи, рабочей камерой которых является замкнутый обжигательный канал объёмом 250-2000 м³. Канал условно разбивается на ряд камер по количеству входов в печь (12-36). Материал загружается в каждую камеру индивидуально через отверстия в стенах печи - ходки. Доставка кирпича-сырца от сушил к печи и непосредственно в печь осуществляется на вагонетках. Кирпичи-сырцы устанавливаются на под печи с разрядкой в несколько рядов по высоте. Загрузка сырца и выгрузка обожженного кирпича осуществляются непрерывно. После загрузки сырца в печь ходки закладываются кирпичом и зазоры замазываются глиной.

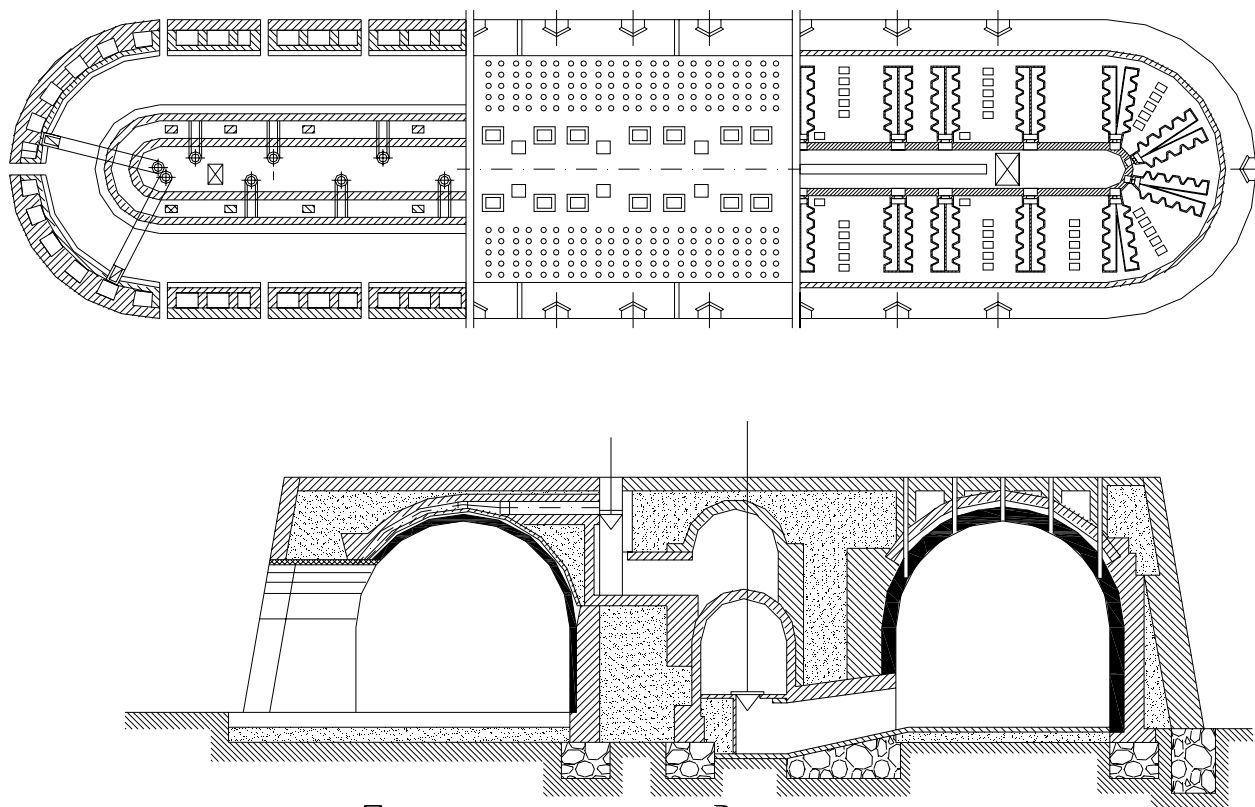


Рисунок 35 – Кольцевая печь

Во внутренней стене печи расположен дымовой канал с отверстием, соединяющим его с дымовой трубой либо дымососом. Обжигательный канал соединяется с дымовым посредством отверстий (очелков) во внутренней стене печи. Очелки оборудованы подъемными коническими клапанами, посредством которых дымовой канал может подсоединяться к обжигательному либо отсоединяться от него.

Над дымовым каналом расположен жаровой канал, который также может подсоединяться к обжигательному каналу посредством очелков. В него сбрасывается горячий воздух из зоны охлаждения обожженных изделий.

В рабочем канале печи условно различают пять зон: сушки; подогрева дымовыми газами; обжига; зону охлаждения; зону выгрузки кирпича и загрузки сырца. Подача топлива и его сжигание осуществляются непосредственно в каждой камере. После обжига в камеру подается воздух для охлаждения изделий. Нагретый воздух подается в жаровой канал, из которого он направляется в зону сушки, подогрева и обжига сырца, расположенные в других камерах. Таким образом, в кольцевой печи в одно и то же время может производиться загрузка сырца, досушка и подогрев его, спекание, охлаждение и выгрузка кирпича.

Теплота горячих дымовых газов, покидающих зону обжига, используется для подогрева сырца, теплота газов из жарового канала – для досушки сырца и подогрева воздуха, используемого для горения топлива.

Значительно облегчается труд обжигальщиков при запрессовке в сырец твердого топлива. Это позволяет снизить количество сжигаемого в камере топлива и получаемого количества золы, требующей удаления. Использование в качестве технологического топлива газа – безусловно, положительный фактор.

Разработаны и внедрены конструкции кольцевых печей с плоским съемным сводом, позволяющие механизировать процесс загрузки и разгрузки печей. Свод выполнен из плит, представляющих собой металлические профили (швеллер) заполненные муллитокремнеземистой ватой, обеспечивающей надежную теплоизоляцию свода.

Технико-экономические показатели работы кольцевых печей: температура обжига 900-950 °С, плотность садки кирпича 180-250 шт. усл. кирпича на 1 м³ рабочего пространства печи. Годовая производительность 2000 шт. усл. кирпича на 1 м³ обжигательного канала в месяц. Расход условного топлива 120-150 кг условного топлива на 1 тысячу шт. усл. кирпича. Длительность цикла обжига 3-5 суток.

Туннельные печи [11], поперечные сечения которых представлены на рисунках 36 и 37, конструктивно подобны ранее рассмотренным туннельным сушилкам. Работают по принципу противотока. Вагонетки с сырцом (полуфабрикатом) вталкиваются в печь с загрузочного конца, а в это время из разгрузочного выталкиваются вагонетки с уже обожженным кирпичом.

В средней своей части печи размещена зона обжига, в которой расположены форсунки для подачи мазута либо газа (по 18 штук и более с каждой стороны). На печах малой производительности и ширины форсунки располагаются только в боковых стенках печи, а на печах большой производительности и ширины форсунки располагаются как сбоку обжигательного канала, так и сверху его. Продукты горения просасываются вперед и омывают изделия, находящиеся в зоне подогрева. Отработанные дымовые газы выбрасываются в атмосферу дымососом.

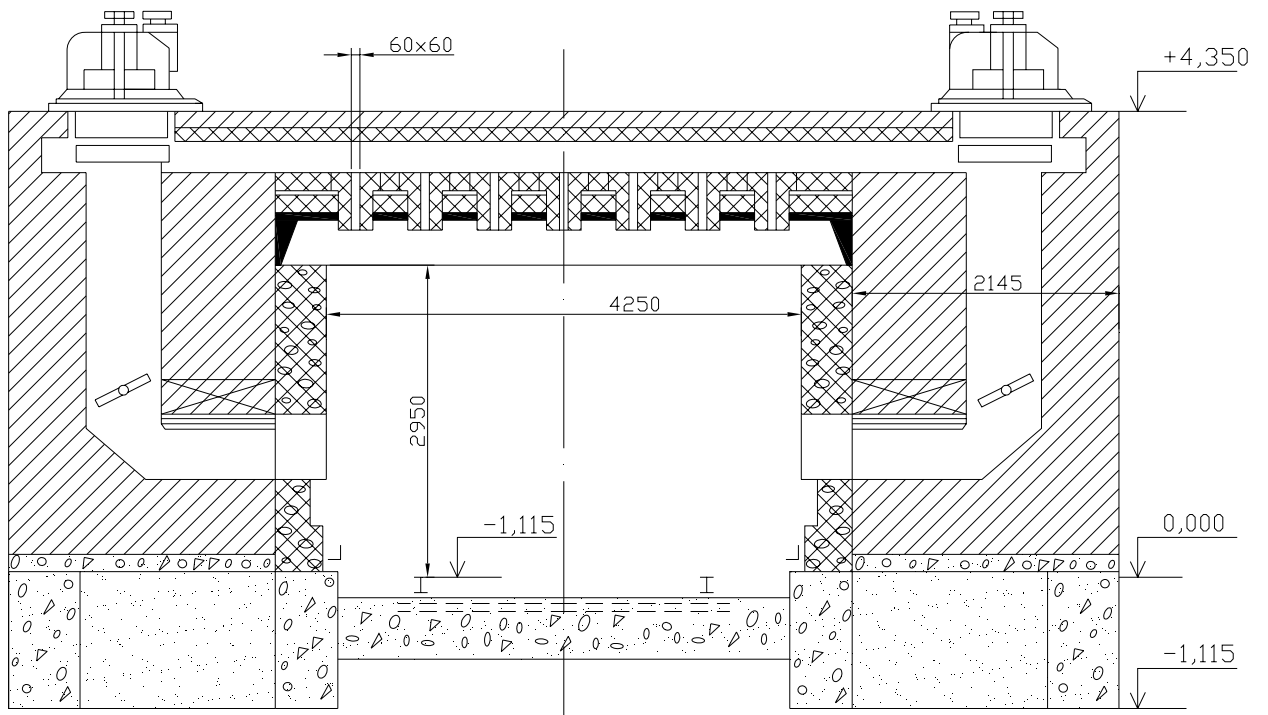


Рисунок 36 – Разрез туннельной печи по зоне подогрева

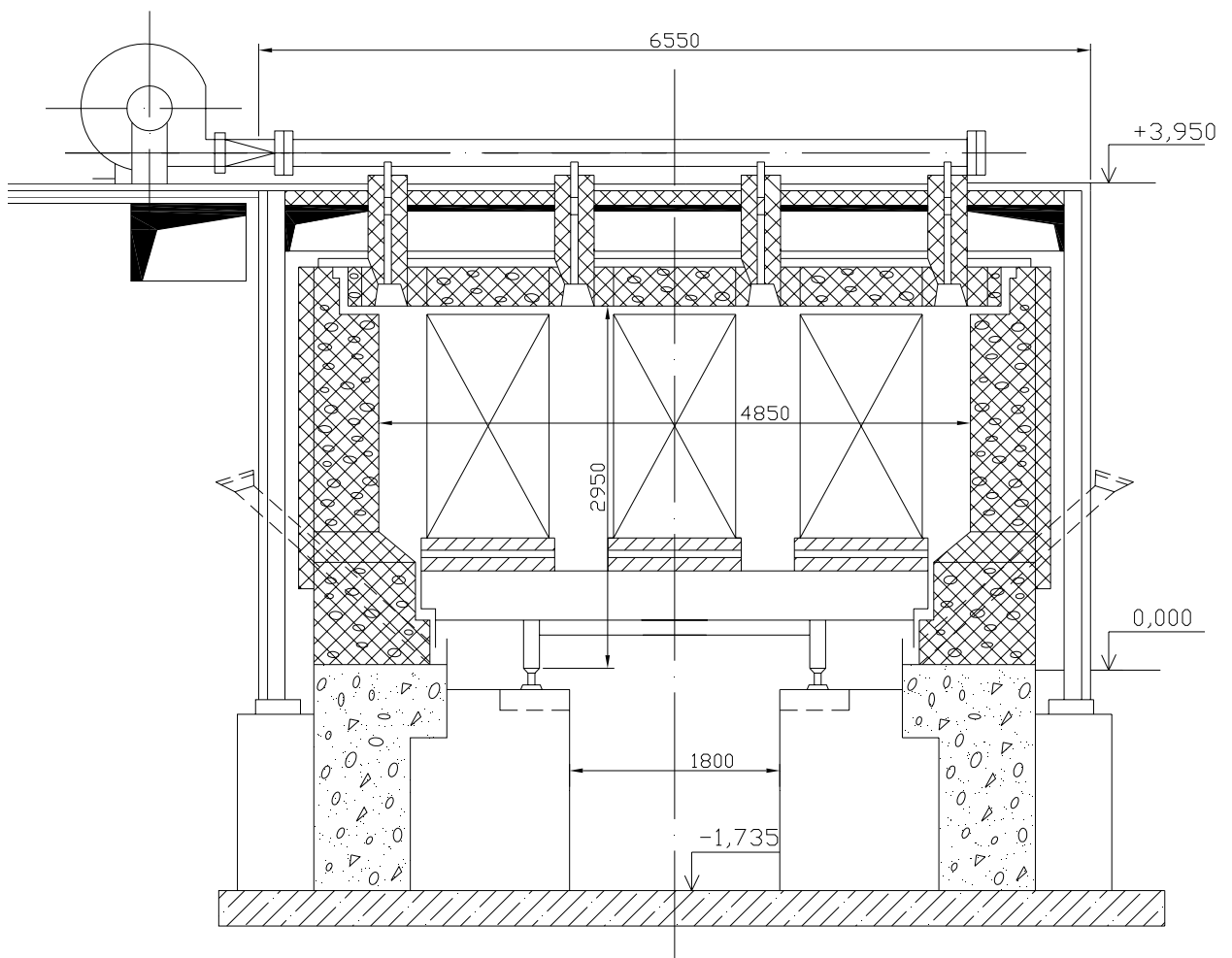


Рисунок 37 - Разрез туннельной печи по зоне обжига

Атмосферный воздух нагнетается вентилятором в конец зоны охлаждения, омывает обожженные изделия, охлаждает их при этом, а сам нагревается. Затем часть нагретого воздуха подается в зону обжига для обеспечения горения топлива; другая часть нагретого воздуха направляется в сушильные установки.

Весьма разнообразны аэродинамические схемы туннельных печей. Простейшая – схема с одним дымососом, но более эффективна схема с принудительным отбором воздуха из зоны охлаждения специальным вентилятором, который может передавать горячий воздух в сушилку, к горелкам и в зону подогрева.

Рециркуляция отработанных газов дает возможность турбулизировать газовый поток в зоне подогрева и снизить его температурное расслоение.

Устройство воздушных завес позволяет изолировать зону обжига от смежных зон и создать в ней восстановительную среду, что важно на заключительной стадии обжига керамических изделий. К тому же, завеса на стыке зон обжига и охлаждения способствует интенсификации процесса охлаждения в период пиропластического состояния материала.

В наиболее совершенных конструкциях туннельных печей зона подготовки разделена на три автономно регулируемые секции: низкотемпературной рециркуляции, осуществляемой обычными перемешивающими вентиляторами; высокотемпературной рециркуляции, оборудованной жаростойкими перемешивающими вентиляторами; подогрева пода вагонеток. Зона охлаждения также разделена на четыре секции: закала, умеренного, замедленного и интенсивного охлаждения. Подвагонеточный канал оборудован приточно-вытяжной вентиляцией для создания уравновешенного аэродинамического режима с обжигательным каналом.

Печи старой конструкции и малой производительности имеют обжигательный канал, перекрытый арочным сводом. В новые конструкции туннельных печей для обжига грубой строительной керамики внесены существенные изменения. Свод печей изготавливается плоским – перекрывается многослойными плоскими панелями, выполненными из жароупорного бетона на глиноземистом цементе с теплоизоляцией муллитокремнеземистой ватой. Ширина канала увеличена до семи метров при высоте садки около одного метра. Наличие плоского свода упрощает применение пакетной садки. За счет этого повышается коэффициент заполнения канала печи кирпичом и улучшается аэродинамический режим печи.

Стены печей, как правило, выполнены из шамотного кирпича; снаружи их облицовывают обычным керамическим кирпичом. На ряде современных печей обжигательный канал выполняют из сборного жароупорного железобетона, что позволяет сооружать печи промышленными методами. Для улучшения теплоизоляции стен и свода печей в последнее время стали использовать плиты из каолинитового (муллитокремнеземистого) волокна.

Изоляция обжигательного канала от подвагонеточного канала осуществляется посредством песочного затвора, представляющего собой узкий

канал, расположенный вдоль внутренних поверхностей стен печи. Канал заполнен песком, который засыпается в него через воронки, выведенные на наружные поверхности стен. На верхних боковых поверхностях вагонеток закрепляются ножи, которые погружаются в песок, препятствуя, таким образом, проникновению раскаленных дымовых газов в подвагонеточное пространство. Для защиты ножей от воздействия высоких температур на них наклеивается муллитокремнеземистый картон с помощью высокотемпературного алюмохромофосфатного клея.

Вагонетки [8] туннельных печей футеруют жароупорным бетоном либо шамотными камнями для защиты её металлических частей от воздействия высоких температур.

В производстве грубой строительной керамики туннельные печи применяют в производстве кирпича, камней из керамических масс, не дающих деформаций под нагрузкой при конечной температуре обжига. При деформации нижних рядов кирпича или камней садка на вагонетке разваливается, и в результате возникают простои в работе печи. Поэтому на заводах, использующих местные глины с узким интервалом спекания, кирпич обжигают в кольцевых и других печах с неподвижной садкой.

Съем с 1 м³ рабочего объема туннельной печи 3500-6000 шт. кирпича в месяц; удельный расход топлива 140-160 кг/1000 шт.

3.5 Особенности технологии керамических стеновых материалов, получаемых способом полусухого прессования

Керамические изделия по технологии полусухого прессования изготавливают из порошкообразных масс путем прессования под давлением 15-40 МПа.

Технологический процесс включает в себя карьерные работы, приготовление пресс-порошка, прессование, сушку и обжиг изделий. Карьерные работы проводят по той же схеме, что и при пластическом способе формования.

3.5.1 Приготовление пресс-порошка

Керамический пресс-порошок – высококонцентрированная (маловлажная) дисперсная глинистая система, не обладающая связностью. Характерное свойство пресс-порошков – сыпучесть, измеряемая скоростью истечения порошка под действием собственной массы через отверстие определённого диаметра.

Пресс-порошки должны иметь определенный зерновой состав и влажность, однородную пофракционную влажность; содержать минимальное количество пылевидной фракции. Готовят пресс-порошки сушильно-помольным и шликерным способами.

При сушильно-помольном способе глина, поступающая со склада, подвергается грубому дроблению; затем производится сушка, размол, просев и, при необходимости, дополнительное увлажнение пресс-порошка.

Дробление глины производится в камневыделительной дробилке с ребристым валком. Затем глина направляется на сушку в сушильный барабан, работающий по схеме прямотока. Температура теплоносителя на входе в барабан - 600-800 °С, а на выходе - 110-120 °С; температура глины на выходе из барабана 60-80 °С, влажность глины на выходе – 9-11 %. Барабан изнутри оборудован встроенными теплообменными устройствами: пересыпные полки, цепная завеса. Последняя, кроме улучшения теплообмена, также производит измельчение глины.

Отмечается неравномерность сушки гранул: при средней влажности гранул равной 8,5-12 %, влажность крупных кусков составляет 15,5-19 %. Таким образом, крупные куски имеют повышенную влажность, в то время как мелкая фракция оказывается пересушенной.

Дальнейшая обработка глины проводилась ранее в дезинтеграторах, в которых крупные куски глины подвергались дроблению, а затем глина рассеивалась на ситах с целью отделения частиц размером более 4 мм. На некоторых заводах использовали сита с электроподогревом для исключения замазывания сеток влажной глиной. В дальнейшем просеянный пресс-порошок направлялся на вылеживание в бункера с целью устранения влажностной неоднородности. Но практика показала, что даже вылеживание в течение 10 суток не приводит к выравниванию влажности пресс-порошка по различным фракциям. К тому же, дезинтеграторы замазываются при влажности глины более 10 %, и в них наблюдается значительный абразивный износ соединительных колец корзины.

В настоящее время практически все заводы, работающие по технологии полусухого прессования, оборудованы стержневыми смесителями-растирателями-гомогенизаторами СРГ, в которые направляется мелкая фракция пресс-порошка после отсева на сите. В смесителях осуществляется тщательное перетирание пресс-порошка, способствующее его гомогенизации по зерновому составу и влажности. Крупная фракция, отличающаяся, к тому же, повышенной влажностью возвращается через камневыделительную дробилку в сушильный барабан для досушки.

Оптимальная влажность пресс-порошка зависит от давления прессования: с повышением давления прессования влажность должна снижаться.

При шликерном способе производства глина распускается в глиноболтушке либо лопастной мешалке. При этом наблюдается выпадение камневидных включений на дно глиноболтушки, которые затем удаляются при остановке глиноболтушки на очистку и ремонт. Затем глиняный шлам влажностью 40-45 % посредством шламового насоса направляется на дуговые грохоты для отделения оставшихся более мелких каменистых включений. Затем шликер направляется на гомогенизацию и хранение в шламовые бассейны вместимостью 2500 или 6000 м³, оборудованные крановыми мешалками, а из них посредством шламнасоса шликер подается на

обезвоживание в башенные распылительные сушилки БРС, в которые также подается теплоноситель. Из БРС выгружается глиняный порошок влажностью около 10 %, который затем направляется в бункера на вылеживание.

При шликерном способе также целесообразно проводить обработку пресс-порошка в стержневом смесителе-растирателе-гомогенизаторе.

Качество пресс-порошка при шликерном способе выше, чем при сушильно-помольном, но затраты на получение пресс-порошка по шликерному способу значительно выше, т.к. высоки затраты на сушку шликера, поэтому его целесообразно использовать при значительном содержании каменистых включений в глине и при производстве лицевого кирпича.

3.5.2 Прессование изделий

Керамический пресс-порошок – трехфазная система, состоящая из твердой минеральной фазы, жидкой фазы – воды, – и воздуха. Для получения плотной прессовки необходимо максимальное удаление воздуха и сближение твердых частиц.

Выделяют три стадии уплотнения:

- первая за счет смещения частиц друг относительно друга и их сближения;

- вторая за счет пластической необратимой деформации частиц. Увеличивается контактная поверхность между частицами. Влага из глубинных слоев частицы выжимается в контактную зону. Сцепление между частицами усиливается. Наблюдается защемление и упругое сжатие воздуха, не успевшего удалиться из пресс-порошка;

- третья характеризуется упругой деформацией частиц. При этом может происходить хрупкое разрушение частиц; сцепление между частицами ещё больше возрастает. Упругие деформации наблюдаются при очень больших давлениях и в технологии керамического кирпича не достигаются.

После прекращения действия прессующего усилия и освобождения изделия из пресс-формы, наблюдается его упругое расширение, достигающее 8 % и сопровождающееся появлением дефектов структуры.

Упругое расширение вызывается следующими факторами:

- обратимыми деформациями твердых частиц;
- расширением запрессованного воздуха;
- адсорбционным расклиниванием контактов между частицами влагой, выжатой при прессовании из контактных поверхностей в более крупные поры.

Суммарный эффект уплотнения характеризуется коэффициентом сжатия

$$K_{сж} = \frac{H}{h} \quad (49)$$

где H – высота засыпки порошка в пресс-форму, м;

h – высота полученной прессовки, м.

Разница между высотой засыпанного в форму порошка и высотой полученной прессовки - осадка смеси, - рассчитывается по формуле

$$h_0 = H - h \quad (50)$$

Зависимость коэффициента сжатия от величины прессового давления описывается уравнением

$$K_{сж} = aP^n \quad (51)$$

где P - величина прессового давления, МПа;
 a, n - константы, определяемые эмпирически.

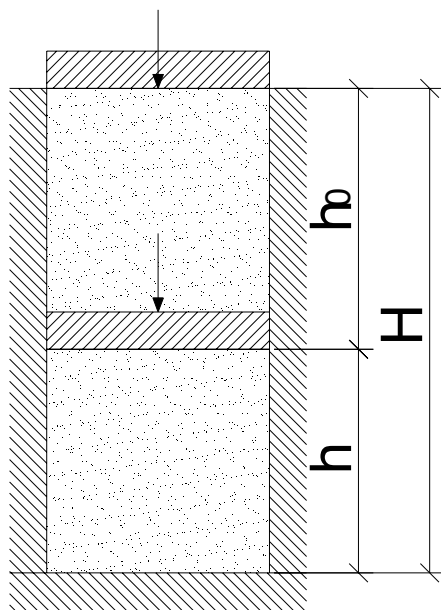


Рисунок 38 – Схема к определению понятия «осадки»

Графическую зависимость между осадкой и удельным давлением прессования изображают в виде компрессионной кривой, которая является основной характеристикой деформативных свойств порошка. Эта зависимость представлена на рисунке 39. Как видно из рисунка, с увеличением давления и влажности осадка возрастает. Для каждого пресс-порошка с присущими ему прессовочными свойствами существует определенное оптимальное давление прессования.

Прессовое давление затухает в направлении толщины изделия. Распределение давления по толщине изделия описывается уравнением [12]

$$P_H = P_0 e^{-K \frac{H}{R}} \quad (52)$$

где P_H - давление на расстоянии H от поверхности пуансона, МПа;
 P_0 – давление у поверхности пуансона, МПа;
 R - гидравлический радиус прессовки ($R = \frac{2F}{\Pi p}$), м;
 F - площадь поперечного сечения прессовки, м²;
 Πp – периметр поперечного сечения прессовки, м;
 K - коэффициент, зависящий от внутреннего трения в массе и её трения о стенки пресс-формы

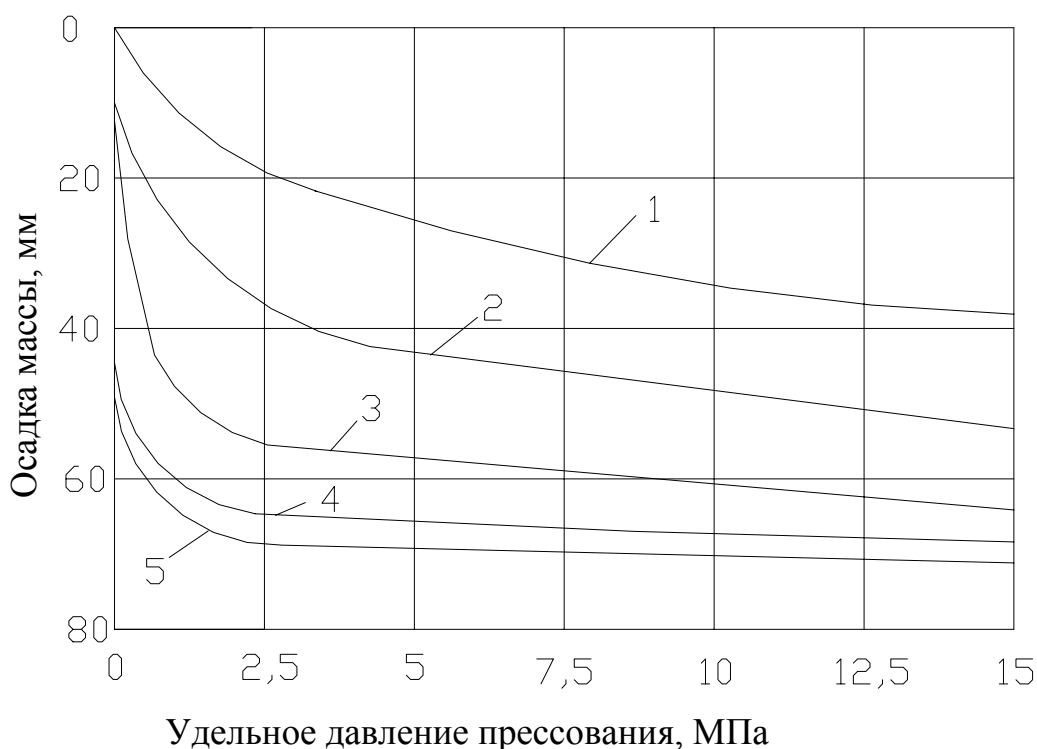


Рисунок 39 – Зависимость между осадкой и удельным давлением прессования глиняного порошка при его влажности, в %: 1 - 0,004; 2 - 8,1; 3 - 11,5; 4 - 13,25; 5 - 15,95

Изменения величины пористости Π_H и плотности ρ_H по толщине прессовки описывается уравнениями 53 и 54.

$$\Pi_H = \Pi_0 + C_p \frac{H}{R} \quad (53)$$

и

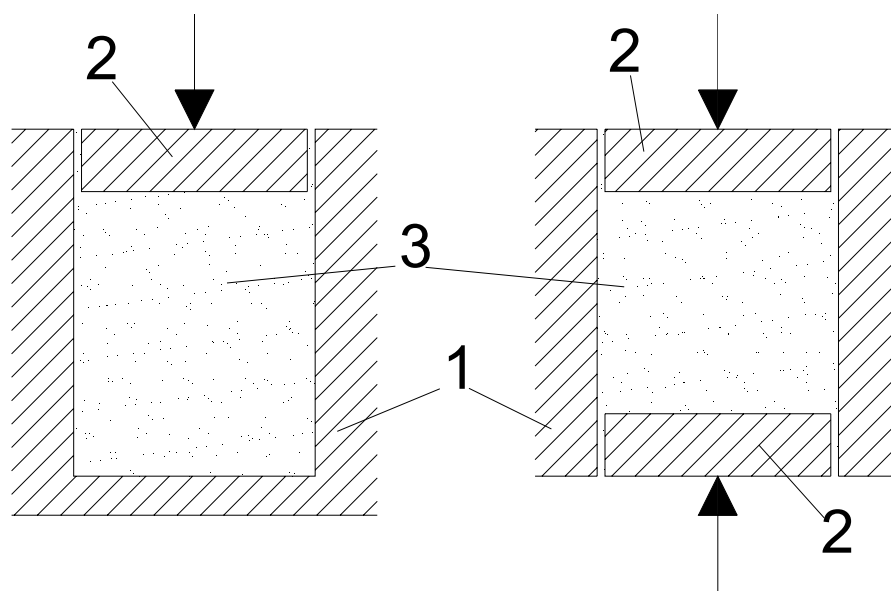
$$\rho_H = \rho_0 - C_1 \frac{H}{R} \quad (54)$$

где Π_0 - пористость прессовки непосредственно под штампом, %;
 Π_H – пористость прессовки на глубине H от штампа, %;
 R - гидравлический радиус прессовки, м;
 ρ_0 и ρ_H - плотности прессовок непосредственно под штампом и на глубине H от штампа соответственно, кг/м³;

C_p и C_1 - эмпирические коэффициенты (C_p называется коэффициентом пропрессовываемости).

Наличие бокового трения обуславливает неравномерность плотности не только по толщине прессовки, но и по поверхности: в середине прессовка испытывает большее давление, чем в периферийных частях, которые остаются недопрессованными. Перепады давления и плотности прессовки по толщине прессовки могут быть снижены пластификацией порошков путем повышения влажности, введением ПАВ, смазывающих веществ и подогревом пресс-формы.

На равноплотность прессовки большое влияние оказывает режим прессования. По схеме приложения прессовых усилий различают прессование одностороннее и двухстороннее (смотри рисунок 40); по кратности приложения усилий – однократное и многократное прессование; по интенсивности приложения – ударное и плавное прессование.



1 – формы; 2 – подвижные штампы; 3 – прессуемый порошок

Рисунок 40 – Направление прессования: а – одностороннее; б – двухстороннее

При двухстороннем прессовании путь перемещения штампа сокращается вдвое, соответственно меньше и величина потерь давления прессования. При многоступенчатом прессовании, поскольку при сбросе давления наблюдается удаление защемленного воздуха, обеспечивается меньшая неравноплотность изделий; одна и та же плотность прессовки достигается при меньшем давлении.

Увеличение длительности приложения нагрузки способствует повышению плотности прессовки и её равноплотности. Наихудшие результаты получаются при ударном прессовании, наилучшие - при плавном приложении нагрузки.

Для изделий, спрессованных из порошков, характерными являются трещины расслаивания. Они возникают на боковых гранях прессовки

перпендикулярно направлению усилия прессования. Основной причиной возникновения трещин расслаивания является упругое расширение прессовки. Расширение прессовки вызывается расширением воздуха, защемленного в прессовке при прессовании, после того как прекращается прессование и изделие выталкивается из пресс-формы. Количество запрессованного воздуха достигает 37-71 % от общего количества воздуха, находившегося в исходном пресс-порошке. Давление защемленного воздуха достигает 10 МПа при влажности пресс-порошка 10-12% и не превышает 2 МПа при влажности 6-8 %.

При выталкивании прессовки из формы наблюдается её упругое расширение, в то время как та часть прессовки, которая остается в пресс-форме, продолжает оставаться обжатой стенками пресс-формы. Вследствие малой прочности при растяжении прессовки (не более 2,5 МПа) наблюдается образование боковых трещин по мере выхода прессовки из пресс-формы. Для исключения трещинообразования на боковых гранях прессовки рекомендуется изготавливать пресс-формы с уширением на 1-2 % в сторону выталкивания изделия, что позволяет обеспечить одновременное освобождение его от стенок пресс-формы и исключить различие деформаций расширения по толщине прессовки.

3.5.3 Сушка и обжиг сырца

Сушка сырца осуществляется в туннельных сушилках на печных вагонетках, так как сырец имеет высокую механическую прочность (до 20-25 кг/см²), достаточную для того чтобы выдерживать без разрушения и деформаций массу вышележащих слоев кирпича-сырца. Длительность сушки – 16-24 часа. Конечная влажность сырца – 4-6 %. В качестве теплоносителя используется разбавленный горячий воздух из зоны охлаждения туннельных печей. Температура теплоносителя на входе в сушилку составляет 120-150 °С.

Обжиг сырца, как правило, проводится в туннельных печах по той же схеме, что и кирпича пластического формования. Но следует отметить некоторое отличие механизма формирования керамического черепка при обжиге сырца полусухого способа прессования в сравнении с сырцом пластического формования.

В сырце пластического формования дисперсной средой является водный раствор растворимых щелочных солей, а дисперсной фазой – коллоидные частицы глинистых минералов. Дисперсная фаза, распределенная в воде, образует суспензию, которая наполнена крупными частицами примесей и не распустившимися в воде частицами глины, которые можно рассматривать как «заполнители» этой суспензии.

Во время сушки, по мере испарения влаги, частицы заполнителя сближаются между собой, контактируют между собой, образуя таким образом скелет высушенного изделия. Зерна заполнителя оказываются покрытыми сплошной обмазкой из коллоидной фракции глины, которая содержит в себе растворимые соли, и является наиболее легкоплавкой частью всей керамической массы. Причем соли концентрируются главным образом в зоне

контакта между зернами. Поэтому при обжиге кирпича в первую очередь наблюдается плавление керамической массы в контактной зоне и здесь начинается формирование новообразований. При последующем охлаждении именно в контактной зоне наблюдается образование наибольшего количества минералов и затвердевшего расплава, обеспечивающих высокую прочность керамического черепка.

При полусухом способе формования на прессование поступает пресс-порошок, содержащий частицы неоднородные по размерам, плотности и влажности. Крупные глинистые частицы обладают наибольшей влажностью и наименьшей прочностью и при прессовании в них внедряются более мелкие и сухие частицы глины и частицы твердых включений. Таким образом, коллоидная фаза находится не в контактной зоне между крупными частицами, а внутри самих частиц. Поэтому и при обжиге жидкая фаза формируется прежде всего не на поверхности крупных частиц, омоноличивая их таким образом, а внутри этих частиц. На контактных же поверхностях глинистых агрегатов возникает сравнительно небольшое количество расплава, которое не обеспечивает сплошной цементации контактной поверхности. Сцепление между частицами наблюдается только в отдельных контактных точках.

Вследствие этого кирпич полусухого прессования характеризуется пониженным сопротивлением изгибу, повышенной газо- и водопроницаемостью, пониженной морозостойкостью. Поэтому для получения кирпича с высокими эксплуатационными характеристиками при технологии полусухого прессования обжиг его надо проводить при более высокой температуре, чем при технологии пластического формования. Глины необходимо использовать с большим интервалом спекания, чем при пластическом способе формования.

3.5 Особенности технологии пустотелых керамических изделий

Использование пустотелых камней и кирпичей позволяет снизить расход сырья и топлива на условную единицу продукции, повысить производительность сушилок и печей (на 30 %).

Применение пустотелых изделий при сооружении наружных стен позволяет уменьшить их толщину, снизить нагрузки на фундамент, сократить транспортные расходы.

Экономическая эффективность использования пустотелых изделий возрастает с уменьшением их средней плотности. Изделия со средней плотностью менее 1200 кг/м^3 называют эффективными, т.к. позволяют снизить толщину возводимых стен. При средней плотности более 1400 кг/м^3 материалы относят к малоэффективным, т.к. толщина стен при их использовании такая же, как и при кладке из сплошного кирпича, но, тем не менее, их использование экономически целесообразно по ряду других факторов.

В СССР в 1970 г. выпуск пустотелых керамических стеновых материалов составил 10 % от общего выпуска. В настоящее время выпуск

пустотелых керамических стеновых материалов значительно больше. Увеличение производства пустотелых изделий ограничивается качеством сырья.

В качестве сырья для производства пустотелых изделий используются легкоплавкие глины, но диапазон их гранулометрического, минералогического и химического составов уже, чем при производстве сплошного кирпича. Число пластичности выше, составляет 15-25, причем с увеличением пустотности изделий и уменьшением толщины стенок изделий число пластичности должно возрастать. Содержание каменистых включений не более 3 %. Механическая обработка глины должна быть более интенсивной, чем для сплошных изделий; с увеличением пустотности и размеров изделий интенсивность обработки возрастает. Глина должна подвергаться обработке на бегунах, а затем зумпфованию (вылеживанию в шихтозапасниках).

Формование изделий осуществляется, как правило, на вакуумных прессах и лишь иногда на безвакуумных (мелкие щелевые камни). Шаг шнека - не более 200 мм, частота вращения его на 20-30 % меньше, чем при формовании полнотелого кирпича, что позволяет снизить расслаивание массы и повысить её плотность и однородность.

Размер корпуса пресса должен отвечать соотношению [12]

$$2 \leq \frac{F_{ц} \cdot K_e}{F_{мж}} \leq 6 \quad (55)$$

где $F_{ц}$ - поперечное сечение корпуса (цилиндра) пресса, m^2 ;
 $F_{мж}$ - живое сечение мундштука (за вычетом площади кернов), m^2 ;
 K_y - коэффициент уплотнения глиняной массы при ее формовании ($K_y - 1,2-1,5$).

Зазор между корпусом и лопастями не должен превышать 2 мм. Используются короткие неорошаемые металлические мундштуки; длина мундштука – 40-60 мм.

Для получения бруса с пустотами внутри мундштука (в месте его закрепления на головке) устанавливаются скобы, на которых крепятся держатели кернов и навинчиваются керны. Профиль пустот определяется формой кернов. Скобы изготавливаются шероховатыми, чтобы исключить образование скобяных трещин при обтекании керамической массой скобы, поскольку слои массы с гладкой поверхностью обладают худшей сцепляемостью чем шероховатые.

Стержни выполняют из велосипедных спиц либо стальных стержней диаметром до 10 мм (до 25-40 мм при больших отверстиях в камне). Длина кернов 20-30 мм. Крепление стержней к скобе, а кернов к стержням может быть шарнирным (т.е. свободным, плавающим). Для

выравнивания скорости движения массы по сечению бруса средние керны делают длиннее, а крайние короче. Отношение их длины равно 5:1. Поверхность кернов хромирована, изготавливаются они с плюсовым допуском (ввиду последующей усадки отформованной массы в центре изделия).

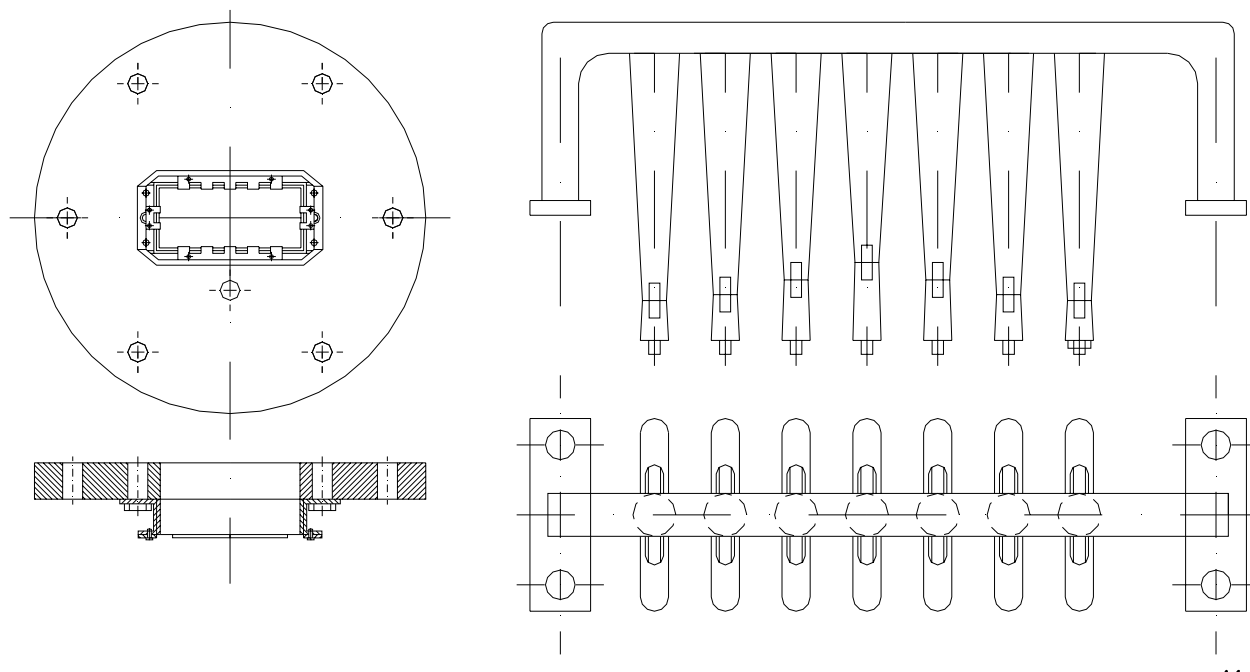


Рисунок 41 – Мундштук для формования семищелевого кирпича

Сушку пустотелых изделий проводят в туннельных либо камерных сушилках. Изделия устанавливают с большой разрядкой для улучшения режима сушки. Пустотами изделия устанавливают по направлению движения теплоносителя. Время сушки на 30 % короче, чем сплошных изделий. Обжиг керамических камней проводят в кольцевых и туннельных печах. Время обжига также на 30 % короче, чем сплошных изделий.

3.7 Особенности производства лицевых керамических камней и кирпича

К лицевым керамическим изделиям относят такие, которые в стене выполняют одновременно конструктивные и декоративные функции. Выпуск их в России пока составляет незначительную долю от общего выпуска изделий стеновой керамики.

В соответствии с ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» размеры лицевых керамических изделий те же, что и у рядовых изделий. Отклонение в размерах, в мм: по длине ± 4 , по ширине ± 3 , по толщине: ± 2 . Для камней крупноформатных отклонения в размерах, в мм: по длине ± 10 , по ширине ± 5 , по толщине: ± 4 .

Лицевые поверхности изделий должны быть однотонными, иметь чистый тон и равномерный цвет без пятен, выцветов и других дефектов, заметных с расстояния 10 м.

Лицевые изделия могут выпускаться с круглыми сквозными пустотами диаметром до 20 мм, квадратными пустотами с размером стороны до 20 мм и щелевидными шириной до 16 мм. Размеры сквозных пустот не ограничиваются. Толщина наружных стенок не менее 12 мм.

По виду фактуры лицевой поверхности лицевые изделия выпускаются:

- с гладкой и рельефной поверхностью;
- с поверхностью, офактуренной торкретированием, ангобированием, глазурованием, двухслойным формованием, нанесением полимерного покрытия или иным способом.

Лицевые изделия могут быть естественного цвета или объемно окрашенными.

На лицевых изделиях не допускаются отколы, вызванные включениями, например известковыми.

На лицевых изделиях не допускаются высолы.

Марка по прочности изделий должна быть не ниже: пустотелого кирпича и камня (кроме крупноформатного камня) - М100, крупноформатного камня - М35, полнотелого кирпича для несущих стен - М125, для самонесущих стен - М100.

Водопоглощение кирпича и камней должно быть не менее 6,0 % и не более 14,0 %.

Для изделий, изготовленных из трепелов и диатомитов, допускается водопоглощение не более 28 %.

Марка по морозостойкости лицевых изделий должна быть не ниже F50. Допускается по согласованию с потребителем поставлять лицевые изделия марки по морозостойкости F35.

Применение лицевого кирпича по сравнению с мокрой штукатуркой снижает стоимость 1 м² стены на 15 %, уменьшает трудовые затраты на 25 %.

Глины, используемые для производства лицевого кирпича, должны отвечать следующим требованиям: иметь низкую температуру спекания и интервал спекания не менее 100 °С; обладать однородным составом; не содержать вредных примесей - зерен известняка, железистых и каменистых включений, повышенного количества растворимых солей, вызывающих появления на поверхности выпловок, пятен, налетов. Число пластичности не менее 10.

Сырьевая шихта на основе *беложгущихся* - тугоплавких и огнеупорных - глин подготавливается из глинистого и шамотного (40-45 % шамота из тех же глин) порошков, которые дозируются в двухвальную лопастную смеситель сухого перемешивания, а затем после смешения, смесь подается во второй двухвальную смеситель, в котором увлажняется до 18-19 %. Затем из смеси на ленточном прессе формируются «валюшки»

(цилиндрики), которые после вылеживания (для равномерного распределения влаги) подаются во второй ленточный вакуум-пресс для формования изделий. Процесс промежуточного вылеживания валяшки может быть заменен вылеживанием обработанной глины. Формование осуществляется на вакуумном прессе при вакууме не менее 92 кПа. Сушка проводится в туннельных сушилах, а обжиг - в туннельных печах.

Из *красножгущихся* легкоплавких глин лицевой кирпич изготавливают по технологии, принятой при изготовлении рядовой стеновой керамики, но со строгим выдерживанием всех технологических параметров. Формовочная влажность не более 18 %, вакуум не менее 92 кПа. Рекомендуется допрессовка сырца. В шихту могут вводиться железосодержащие добавки - железная руда, отходы обогащения - для придания большей интенсивности окраски кирпичу. Эти добавки следует подвергать тонкому помолу и вводить в керамическую массу в виде шликера при увлажнении глины в глиномялке.

Связывание растворимых солей с целью предотвращения образования на поверхности белых пятен осуществляют путем добавления в керамическую массу BaCO_3 .

Торкетированный кирпич изготавливается из легкоплавких глин с обработкой массы по общепринятой технологии.

Фактура лицевых поверхностей образуется путем нанесения на тычковую и ложковую грани бруса песка, крошки из стекла, фарфора, шамота, арктического туфа. Фактура: грубозернистая, шероховатая - зерна размером 3-5 мм; среднезернистая - 1-3 мм; гладкая - 0,5-1 мм. Нанесение зернового покрытия осуществляется посредством пескоструйных форсунок. Затем обрабатываемые поверхности дополнительно прокатываются обрезиненными валиками. Торкетированный сырец менее чувствителен к сушке. Расход крошки на офактуривание 1000 шт. кирпича – 40-60 л.

Ангобированный кирпич. Ангоб представляет собой декоративное керамическое покрытие толщиной 0,2-0,3 мм. Сырьевыми материалами для ангобов светлых тонов являются беложгущиеся глины (80-90 %) и стеклянный бой либо смесь каолина, кварцевого песка и мела (10-20 %); для получения цветных ангобов, кроме того, вводят 5-7 % минеральных красителей.

Коэффициент термического расширения ангоба близок и несколько ниже такового основной массы.

Ангобы наносят на сырец в виде шликера плотностью 1,34-1,36 г/см³. Шликер готовят мокрым помолом в шаровых мельницах до тонины не более 10 % остатка на сите 0063. Шликер, пропущенный через сито с размером ячейки 0,25 мм, хранят в расходных бассейнах, оборудованных пропеллерными мешалками.

Наносят шликер на поверхность сырца, выходящего из пресса, с помощью пульверизационной камеры, оборудованной форсунками, работающими под давлением 80-100 кПа.

Расход сухих материалов 0,6-0,8 кг/ м² поверхности или 10 кг/ 1000 шт. кирпича. Выход бездефектного ангобированного кирпича – 50-80 %; некондиция используется как рядовой кирпич.

Двухслойный кирпич. Производство лицевых изделий из светложгущихся глин сопряжено со значительными экономическими затратами, т.к. запасы таких глин ограничены. Еще больше возрастают затраты при производстве цветных лицевых изделий, т.к. в этом случае кроме светложгущихся глин используют и дорогие керамические краски.

Значительной экономии удается достичь при производстве двухслойного кирпича, основная часть которого сформирована из местных красножгущихся глин, а слой светлой либо цветной массы наносится лишь на лицевую поверхность. Толщина лицевого слоя 3-5 мм. При этом расход светложгущихся глин составляет 0,15-0,2 м³/тыс. шт. усл. кирпича (6-7 % общего объема кирпича).

Величина усадки и коэффициент линейного термического расширения $K_{тр}$ основного и покровного слоя должны быть близки (разница в усадке не более 1-2 %) Основная масса может подготавливаться как по сухому, так и по пластическому способу.

Подготовка керамической массы по сухому способу: глиняный порошок и отощители смешивают в лопастном сухом смесителе, затем смесь увлажняют и перерабатывают в двухвальном глиномялке. Затем масса поступает в бегуны, где окончательно увлажняется ($W_{форм.} = 18-19 \%$), далее масса поступает на пресс.

Подготовка облицовочной массы. Для лицевого слоя массу готовят по пластическому либо шликерному способу.

По пластическому способу – шихту дозируют в двухвальную глиномялку с паровым увлажнением, затем массу обрабатывают на бегунах и гладких вальцах и подают в ленточный пресс, формирующий валяшку. Валяшка вылеживается 4-5 суток, после чего подается в пресс, нагнетающий облицовочную массу.

По шликерному способу – глина распускается в пропеллерных мешалках либо болтушках, шликер с влажностью 45-50 % сливают в приемные бассейны, из которых под давлением 1,2-1,3 МПа подается в распылительную сушилку. Высушенный порошок с влажностью 8-9 % дозируется с отощающими порошками в двухвальный смеситель с паровым увлажнителем. Полученную массу обрабатывают на гладких вальцах, затем вылеживают в силосах и подают на пресс.

Влажность лицевой массы должна превышать ее формовочную влажность $W_{ф}$, определяемую по формуле

$$W_{ф} = W_{м} \cdot K \quad (56)$$

где $W_{м}$ - максимальная молекулярная влагоемкость, %;
 K – коэффициент пересчета, около 1,7-2,2.

Ориентировочно влажность лицевой массы на 4-5 % должна превышать влажность основной (близка к нижнему пределу текучести).

Нанесение лицевого слоя осуществляется на ленточном прессе следующим образом. Головка ленточного пресса наряду с основным отверстием для прохода основной массы имеет периферийный Г-образный паз клиновидного сечения для прохода облицовочной массы. При вращении шнеков подающих основную и облицовочную массу, масса продавливается через головку, происходит сцепление слоев основной и облицовочной массы. Затем брус проходит через калибровочную рамку, мундштук и разрезается на отдельные изделия.

Сушка и обжиг двухслойного кирпича не отличается от сушки однослойного. Выход кондиционного двухслойного кирпича 70-75 % от общего количества. Некондичия используется в качестве обычного строительного кирпича. Себестоимость двухслойного кирпича на 15-20 % ниже себестоимости сплошного лицевого кирпича из светлогжущихся глин.

Глазурованный кирпич. Глазурь – тонкослойное (0,1-0,2 мм) стекловидное покрытие, образующееся при обжиге керамического изделия в результате плавления минеральных композиций, нанесенных на изделие.

Глазурованный кирпич вырабатывается методом двукратного обжига, нанося фритту (сырьевую смесь для получения глазури) на обожженное изделие. После первого обжига поверхности кирпича, подвергаемые глазурованию, зачищают и шлифуют карборундовым камнем; с поверхности удаляется пыль, ее увлажняют и пульверизатором наносят слой фритты.

Разработана технология глазурованного кирпича с однократным обжигом. В этом случае после сушки сырец поступает на глазуровочный конвейер, где подогревается до 70 °С, поверхность его зачищается и на нее наносится слой глазури. Затем глазурное покрытие подвергают сушке, и изделие поступает на обжиг. Используются легкоплавкие глазури (сырые нефритованные и фриттованные - расплавленная шихта выливается в воду, образовавшееся стекло затем размалывают и приготавливают суспензию). Фриттованные глазури - легкоплавкие (температура плавления – 600-1200 °С), а нефритованные - тугоплавкие (температура плавления – 1000-1420 °С). Если коэффициент термического расширения глазури меньше коэффициента термического расширения изделия - возникает отслаивание, если слишком велик - наблюдается цек (сетка волосяных трещин в слое глазури).

4 Технология силикатных стеновых материалов и изделий

4.1 Виды и свойства стеновых силикатных материалов и изделий

В соответствии с ГОСТ 379-95 [14] выпускают изделия, наименование и геометрические параметры которых отражены в таблице 8.

Таблица 8 – Виды и размеры, в мм, силикатных изделий

Виды изделий	Длина	Ширина	Высота
Кирпич одинарный (полнотелый и пустотелый)	250	120	65
Кирпич утолщенный пустотелый или полнотелый с пористыми заполнителями	250	120	88
Камень (пустотелый)	250	120	138

Примечание - Утолщенный кирпич размерами 250x120x88 мм допускается выпускать по согласованию с потребителем.

По видам изготовления кирпичи и камни:

- пустотелые;
- пористые (с пористым заполнителем);
- пористопустотелые;
- полнотелые.

Отверстия в изделиях должны быть несквозными и расположены перпендикулярно постели. Толщина наружных стенок пустотелых изделий должна быть не менее 10 мм.

По прочности изделия изготавливают марок: 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300.

По морозостойкости изделия изготавливают марок: F15, F25, F35, F50.

Марка по морозостойкости лицевых изделий должна быть не менее F25.

В зависимости от средней плотности полнотелые изделия подразделяют на:

- пористые со средней плотностью до 1500 кг/м^3 ,
- плотные свыше 1500 кг/м^3 .

В зависимости от назначения изделия изготавливают лицевыми и рядовыми.

Марка по прочности лицевого кирпича должна быть не менее 125, лицевых камней не менее 100.

Условное обозначение силикатных изделий должно состоять из названия, вида и назначения изделия, марки по прочности и морозостойкости, обозначения настоящего стандарта.

Примеры условных обозначений:

Кирпич силикатный одинарный рядовой марки по прочности 150, марки по морозостойкости F15:

Кирпич СОР-150/15 ГОСТ 379—95

Кирпич силикатный утолщенный рядовой марки по прочности 175, марки по морозостойкости F25:

Кирпич СУР-175/25 ГОСТ 379—95

Кирпич силикатный утолщенный лицевой марки по прочности 200, марки по морозостойкости F35:

Кирпич СУЛ-200/35 ГОСТ 379—95

Кирпич силикатный лицевой декоративный марки по прочности 150, марки по морозостойкости F25:

Кирпич СЛД-150/25 ГОСТ 379—95

Камень силикатный рядовой марки по прочности 125, марки по морозостойкости F15:

Камень СР-125/15 ГОСТ 379-95

4.2 Свойства силикатного кирпича

Прочность при сжатии и изгибе.

Согласно ГОСТ 379-95 кирпич выпускается марок от 75 до 300, что соответствует пределу прочности при сжатии от 7,5 до 30 МПа.

Таблица 9 – Прочностные характеристики кирпича, в кг/см²

Марки кирпича и камней	Предел прочности, кг/ см ²					
	при сжатии		при изгибе			
	средний для пяти образцов	наименьший для отдельных образцов	одинарного и утолщенного полнотелого кирпича		утолщенного пустотелого кирпича	
средний для пяти образцов			наименьший для отдельных образцов	средний для пяти образцов	наименьший для отдельных образцов	
300	300	250	40	27	24	18
250	250	200	35	23	20	16
200	200	150	32	21	18	13
150	150	125	27	18	15	11
125	125	100	24	16	12	9
100	100	75	20	13	10	7
75	75	50	15	11	8	5

Марка 75 может применяться только в малоэтажном строительстве с разрешения Росстроя.

Водопоглощение.

Водопоглощение является функцией пористости кирпича и зависит от зернового состава смеси, ее формовочной влажности, удельного давления прессования. Водопоглощение не должно быть менее 6 %.

Прочность водонасыщенного кирпича ниже, нежели воздушно-сухого. Коэффициент размягчения кирпича – не менее 0,8.

Влагопроводность.

Влагопроводность характеризуется коэффициентом влагопроводности β , который зависит от средней плотности кирпича. При плотности 1800 кг/м^3 и различной влажности коэффициент влагопроводности имеет следующие значения.

Таблица 10 – Значения влагопроводности силикатного кирпича

Наименование показателя	Влажность кирпича, в %							
	0,9	2	5	8	11	14	16,5	18,5
Влагопроводность $\beta * 10^{-5}$, кг/м ²	0	3,6	6,9	8,7	10,2	14,5	30	73

Морозостойкость.

Морозостойкость является показателем долговечности кирпича. Для рядового кирпича морозостойкость не ниже 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания; замораживание проводится при температуре не выше минус 15°C .

Морозостойкость лицевого кирпича не ниже 25 циклов; в зависимости от климатического пояса и категорий зданий, в которых он применяется, может составлять 25, 35 и 50 циклов.

Снижение прочности после испытания на морозостойкость должно быть не более 20 % для лицевого кирпича и не более 25 % для рядового.

Морозостойкость цементирующего вещества определяет морозостойкость силикатного кирпича и зависит от его плотности, микроструктуры и минералогического состава новообразований цементирующего вещества.

Коэффициент морозостойкости цементного камня из прессованного известково-кремнеземистого вяжущего автоклавной обработки колеблется от 0,86 до 0,94 после 100 циклов испытания. При этом с увеличением удельной поверхности кварца с 1200 до $2500 \text{ см}^2/\text{г}$ коэффициент морозостойкости возрастает, а при дальнейшем увеличении дисперсности кварца снижается.

Морозостойкость кирпича зависит не только от его макро- и микроструктуры (повышаясь при увеличении количества микропор за счет снижения количества макропор), но и от вида гидросиликатов кальция. Большой морозостойкостью характеризуется кирпич с цементирующей связкой из высокоосновных гидросиликатов кальция в сравнении с низкоосновными.

Морозостойкость снижается: при содержании в кварцевом песке примесей глины (как при приготовлении вяжущего, так и при использовании

такого песка в качестве заполнителей); при получении цементирующей связки с преобладанием низкоосновных гидросиликатов кальция типа CSH(B). Морозостойкость повышается при преобладании высокоосновных гидросиликатов кальция типа C₂SH(A). Видимо алюмосиликаты глины связываются оксидом кальция в гидросиликаты кальция и гидроалюминаты.

Атмосферостойкость.

Под атмосферостойкостью понимают изменение свойств материала в результате комплексного воздействия на него ряда факторов: попеременного увлажнения и высушивания, карбонизации, замораживания и оттаивания.

Установлено [13], что при эксплуатации каменных конструкций из силикатного кирпича происходит изменение фазового состава цементирующего вещества: наблюдается карбонизация гидросиликатов кальция и несвязанного гидроксида кальция Ca(OH)₂. Стойкость к атмосферным воздействиям карбонизированного кирпича выше, чем исходного, но и у последнего она достаточно высока при использовании в его технологии тонкомолотого известково–кремнеземистого вяжущего.

Стойкость в воде и агрессивных средах.

Стойкость кирпича определяется стойкостью цементирующего вещества, так как песок стоек к действиям агрессивных сред. Кирпич не стоек к действию кислот, разлагающих гидросиликаты кальция и карбонаты, а также агрессивных газов, содержащихся в воздухе, при относительной влажности последнего более 65 %. Наиболее опасны сернистые газы (SO₂), дающие при взаимодействии с водой H₂SO₃ – сернистую кислоту, под воздействием кислорода воздуха переходящую в серную кислоту H₂SO₄, вызывающую сульфатную коррозию кирпича и нарушение прочности наружного слоя (разрушение достигает 2 мм за 55 лет службы) и даже к отслаиванию его поверхностных корок.

При воздействии на кирпич воды и водных растворов солей наблюдается снижение прочности (на 35-40 % спустя 6 месяцев), что объясняется выщелачиванием Ca(OH)₂ и распадом гидросиликатов кальция.

При высокой удельной поверхности песка в шихте ($S_{уд} = 250-300 \text{ см}^2/\text{г}$) выщелачивание Ca(OH)₂ мягкой водой не больше, чем у цементных.

Снижение прочности силикатного кирпича наблюдается при воздействии мягкой воды в течение первых шести месяцев, а затем остается без изменения. Выше стойкость образцов с тонкомолотым кварцевым песком (до 5 %), а ниже с добавкой глины (до 5 %).

Действие растворов сульфатов и смеси сульфатов и хлоридов сопровождается сбросом прочности в течение первых 9 месяцев, а к 12 месяцам прочность стабилизируется и дальше уже не меняется. Выше прочность образцов содержащих 5 % молотого песка, ниже при содержании 1,5 % песка и еще ниже при содержании 5 % молотой глины.

Раствор MgSO₄ вызывает непрерывное снижение прочности образцов независимо от вида и количества в них молотых добавок.

Жаростойкость.

При нагревании силикатного кирпича до температуры 200 °С его прочность увеличивается (кирпич высыхает), а при дальнейшем росте температур снижается и при 600 °С достигает исходной (до нагревания). При 800 °С прочность резко снижается вследствие разложения гидросиликатов кальция. Установлено, что жаростойкость силикатных бетонов составляет 550-600 °С, что существенно превышает принятый предел до 250 °С.

В ряде случаев силикатный кирпич использовали для сооружения фундаментов и дымовых труб промышленных и жилых зданий, котельных. Спустя 50 лет эксплуатации состояние кирпича хорошее. Кирпич марки 150 можно использовать для кладки дымоходов.

Теплопроводность.

Теплопроводность колеблется в пределах 0,35-0,7 Вт/(м·°С) для сухих силикатных кирпичей и камней. Находится в линейной зависимости от их средней плотности, практически не зависит от числа и расположения пустот. Выше значения коэффициента теплопроводности для кирпича с эксплуатационной влажностью равной 5 % в сравнении с сухим, но линейная зависимость сохраняется и в этом случае.

Газо-, паро- и звукопроницаемость.

Паропоглощаемость также связана с плотностью кирпича, но здесь уже не наблюдается линейной зависимости, так как со снижением плотности наблюдается опережающий рост паропроницаемости. Подобная зависимость отмечается и для газопроницаемости. Звукопередача в сооружениях из силикатного кирпича зависит от массы 1 м² стены и ее конструкции.

Усадка.

Ее необходимо учитывать при возведении зданий. В ряде стран усадка силикатного кирпича нормируется. По британскому стандарту BS187-67 усадка имеет значение: не более 0,025 % - класс 5-2А; не более 0,035 % - класс 2В; для класса I – не нормируется.

Установлено, что усадка зависит от состава новообразований и наличия в них свободной воды. С увеличением влажности и уменьшением основности гидросиликатов кальция усадка образцов повышается с 0,01 до 0,04 %. Снижается усадка также при повышении давления запаривания и снижении его длительности.

Сцепление с раствором.

Этот фактор очень важен для сейсмических районов, так как сцепление кирпича с раствором определяет этажность возводимых зданий.

Сцепление известкового раствора состава 1:3 с силикатным кирпичом такое же, как и с керамическим и через 28 суток твердения составляет в кладке 0,07 МПа при затворении раствора водой и 0,13 МПа – молоком. Использование в составе силикатной массы и раствора мелких барханных песков, лессов снижает сцепление. Для улучшения сцепления в состав силикатной шихты следует вводить гидравлически активные добавки (опоку, глинит). Для улучшения сцепления целесообразно вводить в состав раствора жидкое стекло либо полимерные добавки (ПВА).

4.3 Сырье для производства силикатного кирпича

Основными сырьевыми компонентами являются пески, известь и вода. Большинство заводов (около 50 %) имеют свои известково-обжигательные цехи, в которых обжигают на известь известняк. Наряду с названными компонентами многие заводы используют и другие виды сырья: суглинки, трепелы, золы и шлаки ТЭС, металлургические шлаки, отсеvy горных пород. Эти материалы используют в качестве компонентов вяжущего либо как заполнители.

Пески являются основным компонентом силикатного кирпича (85-90 % по массе). Песок - рыхлое скопление зерен различного минералогического состава размером 0,1-5 мм. По происхождению различают пески природные и искусственные (отходы при дроблении горных пород, пески из шлаков ТЭС, металлургические). По назначению: пески для бетонных и железобетонных изделий, кладочных и штукатурных растворов, силикатного кирпича.

4.3.1 Пески для силикатных изделий

Пески являются продуктами выветривания коренных или осадочных горных пород (гранит, полевые шпаты, карбонаты и т.п.), которые затем были перенесены водой или ветром и осажены в местах их нынешнего залегания. Таким образом, пески - типичные осадочные горные породы.

Различают пески:

- элювиальные - отлагаются на месте разрушения горных пород в процессе их выветривания;
- делювиальные - продукты выветривания, смытые струями дождевых и талых вод;
- аллювиальные - продукты выветривания, перенесенные воздушными потоками – реками;
- ледниковые: моренные, флювиогляциальные и озовокамовые (два последних отложены талыми водами);
- эоловые - перенесенные ветрами;
- морские - образовались под воздействием морской воды.

Минералогический состав песков. Преобладает кварц, затем следуют алюмосиликаты - полевые шпаты, слюды, - карбонаты, оксиды железа, титана, магниевые силикаты. По преобладанию того или иного минерала пески условно подразделяют на кварцевые, полевошпатные, слюдистые, известняковые. При содержании основного минерала 50- 90 % , а другого – 10 – 50 % пески называют кварцево-полевошпатные, полевошпатно-кварцевые.

Форма и характер поверхности зерен песка. Эти факторы имеют большое значение для формуемости силикатной смеси и прочности сырца, а также влияют на скорость реакции с известью, протекающей на поверхности песчинок при автоклавной обработке.

Форма зерен песка может быть окатанной, полуокатанной, полуугловатой (неправильные очертания, острые ребра и углы притуплены),

угловатой (острые ребра и углы). Поверхность песчинок – гладкая, корродированная и регенерированная (нарастание на зернах однородного материала).

Степень окатанности зерен зависит от их размера. Так по мере увеличения размера зерен от 0,1 до 1 мм возрастает содержание окатанных и полуокатанных зерен за счет снижения угловатых. При дальнейшем увеличении размера зерен (от 1 до 5 мм) содержание окатанных резко снижается, полуокатанных продолжает возрастать, а угловатых также незначительно возрастает. Степень окатанности также зависит от минералогии песка: минералы, не обладающие спайностью, образуют округлые зерна (кварц, кремень), а слюды - не образуют окатанных зерен.

Поверхность песчинок нередко покрыта тонкой оболочкой, состоящей из вещества, отличного от тела песчинок. Различают 4 типа оболочек:

1 тип - глинистые. Вещество оболочек близко к обычным глинам. С поверхностью кварцевых зерен связано через обменный ион кальция Ca^{2+} ;

2 тип - железистые. Оболочки представляют собой коллоидный комплекс, необратимо связанный с гидроксидами железа;

3 тип - переходные между 1 и 3 типами с небольшим отношением SiO_2 к R_2O_3 .

4 тип - оболочки смешанного типа (двойная оболочка: внутренняя - железистая; внешняя - глинистая). Наличие оболочек изменяет характер и степень взаимодействия основных минералов песка с вяжущим веществом в процессе автоклавной обработки.

Гранулометрия песка. Большинство исследователей к пескам относят зерна размером 0,05-2 мм. П.И. Фадеев разделяет пески по размеру зерен на пять групп: грубые (1-2 мм), крупные (0,5-1 мм), средние (0,25-0,5 мм), мелкие (0,1-0,25 мм) и очень мелкие (0,05-0,1 мм). В месторождениях преобладают пески с повышенным содержанием мелких фракций. В производстве силикатного кирпича гранулометрия играет большую роль, т.к. она в решающей степени определяет формуемость сырца из силикатной смеси. Наилучшей формуемости отвечает плотная упаковка зерен. В.В. Охотин установил, что при смешении одинаковых по массе трех фракций песка (крупного, среднего и мелкого) с соотношением размеров их зерен 4:2:1 получают смесь с высокой пористостью. При соотношении 16:4:1 пористость значительно уменьшается; еще больше пористость уменьшается при соотношении 64:8:1 и максимально плотная упаковка достигается при соотношении $16^2:16:1$.

Хавкиным С.М. [13] установлено, что оптимальная упаковка зерен силикатной смеси (с учетом наличия в ней тонкодисперсных зерен вяжущего) находится в пределах соотношения фракций песка от 9:3:1 до 16:4:1. При меньшем соотношении фракций песка каждые последующие фракции не уплотняют, а наоборот, раздвигают зерна предыдущей фракции, увеличивая пористость и ухудшая формуемость смеси.

По ГОСТ 8736-95 «Песок для строительных работ» [23] пески разделяют на группы в зависимости от их крупности.

Таблица 11 – Классификация песков по крупности

Группа песка	Полный остаток на сите с сеткой № 063, %	Модуль крупности
Очень крупный	Более 75	Более 3,5
Повышенной крупности	65-75	3-3,5
Крупный	45-65	2,5-3,0
Средний	30-45	2,5-2,0
Мелкий	10-30	2,0-1,5
Очень мелкий	Менее 10	1,5-1,0
Тонкий	Не нормируется	1-0,7
Очень тонкий	Не нормируется	Менее 0,7

На ряде заводов используют весьма мелкие пески однородной гранулометрии, которые плохо формируются на прессах. Для устранения этого недостатка в состав силикатных смесей целесообразно вводить укрупняющие добавки размером 0,6-5 мм. Механизм их действия заключается в том, что вяжущее затрачивается только на покрытие их поверхности (которая очень мала по отношению к объему крупных зерен). Одновременно при одинаковом расходе вяжущего увеличивается его удельное содержание по отношению к рядовому песку, количество которого уменьшают на количество укрупняющей добавки, что равнозначно по уплотняющему действию увеличению количества дисперсной муки в обычной смеси без укрупняющего заполнителя.

В качестве укрупняющей добавки можно применять отсеvy дробления, образующиеся при дроблении и классификации гранита, известняка и других горных пород, являющихся отходами дробильно-сортировочных фабрик. Видимо, можно использовать отсеvy дробления и классификации металлургических шлаков, в частности коржевых остатков, а также доменных граншлаков.

Технические требования к пескам для производства силикатного кирпича регламентируются ОСТ 21-1-80 – «Песок для производства силикатных изделий автоклавного твердения» [5]:

- содержание кварца в песке – не менее 50 %;
- щелочей в пересчете на Na_2O – не более 7,2 %;
- частиц размером менее 0,05 мм (пылевидных, глинистых, илистых) – не более 20 %;
- содержание сернистых и сернокислых соединений, по SO_3 - не более 2 %;
- содержание слюды – не более 0,5 %.
- органические примеси могут присутствовать в таком количестве, при котором колориметрическая проба будет не темнее эталона.

Искусственные пески. Наиболее распространены пески, полученные при дроблении железистых кварцитов - сырья для получения железорудного концентрата. Порода подвергается дроблению, а затем помолу в стержневых

мельницах. Пульпа подвергается флотации, а хвосты перекачиваются в хвостохранилище. Преобладают мелкие фракции, модуль крупности составляет 0,9-1,75 .

Пески могут быть получены и из других вмещающих пород – ультрабазитов (силикаты магния): оливин, серпентин, авгит, диопсид. Содержание кремнезема в них меньше чем в кварцитах (менее 50 %).

Искусственные пески могут быть получены дроблением и классификацией топливных и металлургических шлаков.

Глины и суглинки. В производстве силикатного кирпича глинистые примеси играют двоякую роль:

- 1) глинистые частицы являются пластифицирующими добавками, повышающими прочность сырца;
- 2) пылеватые частицы, содержащие преимущественно дисперсный кварц (размер частиц 0,005-0,05 мм), представляют собой природный кремнеземистый компонент известково-кремнеземистого вяжущего.

Классификация глин по содержанию глинистых частиц и пластичности представлена в таблице 12.

Таблица 12 - Классификация глин по содержанию глинистых частиц и пластичности

Порода	Содержание глинистых частиц (менее 0,005 мм), %	Число пластичности
Глина	Более 30	Более 22
Суглинок:		
Тяжелый	20-30	10-22
Легкий	10-20	10-22
Супесь	5-10	0-10

В большинстве месторождений песков присутствуют тощие глины и суглинки полиминерального состава, которые улучшают формуемость сырца и повышают его прочность.

При наличии в песке глинистых включений повышается формовочная влажность силикатной смеси. Особенно нежелательны примеси глины в виде комочков, что наблюдается при неотработанной технологии приготовления смеси. Комочки плохо связаны с цементным камнем и снижают прочность кирпича. При увлажнении кирпича в условиях эксплуатации глина включений набухает и давит на стенки пор в теле кирпича, вызывая появление напряжений. При замерзании кирпича с водонасыщенными глинистыми включениями возникает давление льда, которое приводит к локальным разрушениям кирпича в месте нахождения включений, а при большом содержании глинистых комочков и значительных их размерах – к полной потере несущей способности. Именно этим объясняется неморозостойкость кирпича при наличии в нем большого числа включений размером более 3 мм.

4.3.2 Воздушная строительная известь

Для производства воздушной извести используется известняк. Известняки относят к осадочным горным породам и могут быть как первичными, так и вторичными (образовались в результате переноса водами). По этой причине в них в значительном количестве могут присутствовать примеси глинистых минералов и оксида магния MgO.

В зависимости от химического состава известь [25] разделяют на кальциевую (MgO – не более 5 %), магнезиальную (MgO=5-20 %) и доломитовую (MgO=20-40 %). В производстве силикатного кирпича используют кальциевую известь и, в редких случаях, магнезиальную. Качество кирпича зависит от свойств извести: содержания $(CaO+MgO)_{акт}$, скорости гашения, удельной поверхности извести. Особенно важна скорость гашения извести, т.к. длительное гашение увеличивает емкость гасильных реакторов и может вызвать разрушение отформованного кирпича.

Активность (гидравлическая) извести определяется режимом ее обжига – температурой и длительностью. На активность извести также влияет характер кристаллической структуры известняков. Известняки с плотной крупнокристаллической структурой обжигаются при более высокой температуре и в течение большего времени. Поэтому не следует обжигать разные по плотности известняки в одной печи.

Известково-кремнеземистое вяжущее может быть изготовлено не только на основе кварцевого песка и извести, но и на ряде промышленных отходов, химический состав которых представлен SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, MgO и т.п., связанными в гидравлически активные минералы – силикаты, алюмосиликаты и т.д.

4.3.3 Промышленные отходы

В технологии силикатных стеновых материалов в качестве заполнителей и компонентов вяжущего могут использовать отходы промышленного производства.

Металлургические шлаки образуются при производстве черных и цветных металлов. Наиболее распространены доменные шлаки (основные и кислые) [16]. Доменные шлаки Урала, Казахстана и Сибири – кислые с модулем основности $M_{осн} \leq 1$ и модулем активности $M_{акт} = 0,3-0,7$.

$$M_{осн} = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (57)$$

$$M_{акт} = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} \quad (58)$$

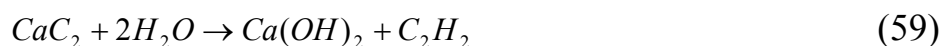
Большой активностью отличаются быстроохлажденные шлаки (гранулированные), содержащие значительное количество стекловидной фазы.

Сталеплавильные (мартеновские, электросталеплавильные, конверторные) являются основными, содержащими C_2S .

Золы и шлаки ТЭС. При высоком содержании в золах CaO - более 40 %, - часть ее (не менее 20 %) оказывается несвязанной. Поэтому золы и шлаки ТЭС могут быть использованы в качестве самостоятельного вяжущего. В противном случае зола может использоваться либо как компонент вяжущего, либо как наполнитель.

Пыль-унос цементных печей также можно использовать в качестве компонента известково-кремнеземистого вяжущего. Она может содержать до 50 % CaO , причем частично в виде $CaO_{св}$, а частично связанной в минералы – силикаты, алюминаты. В составе пыли также присутствуют щелочи, интенсифицирующие взаимодействие CaO и SiO_2 .

Карбидная известь – отход производства ацетилена. Реакция образования ацетилена протекает по схеме



Карбидная известь представляет собой известь–пушонку или карбидный ил. Содержит не менее 50 % $(CaO+MgO)_{акт}$; достаточно стабильна по качеству. По этой причине ряд заводов (Павлодарский, Улан-Уденский) используют ее в производстве силикатного кирпича. Удельная поверхность извести $S_{уд} = 5-6$ тыс. $см^2/г$; есть следы ацетилена.

Отходы горнодобывающей промышленности также могут быть использованы в составе вяжущего. Таковыми являются отходы обогащения дунита, талька, серпентинита. Они обладают слабыми вяжущими свойствами при естественном твердении, которые значительно усиливаются при добавлении 25 % $Ca(OH)_2$.

4.4 Подготовка сырья

Для обеспечения максимальной плотности кирпича, как ранее отмечалось, необходимо оптимальное соотношение между размером зерен крупных и мелких фракций песка (от 4:1 до 3:1) либо крупных, средних и мелких (16:4:1). Поскольку пески залегают в месторождениях неоднородно, к тому же, встречаются пласты песков совершенно отличной от основной массы крупности либо даже суглинков, то необходима детальная геологическая разведка месторождения, по результатам которой составляется план разработки карьера с учетом необходимости шихтовки песков различной крупности.

Предохранение верхнего слоя горизонта карьера песка от промерзания. Месторождения мелкозернистых песков и суглинков обладают большой влажностью и в зимнее время могут промерзать на глубину 1,5-2 м. Это приводит к необходимости использования буровзрывных работ при зимней разработке карьера. Для их исключения целесообразно проводить рыхление верхнего слоя, предполагаемого к разработке участка, на глубину 1,5-2 м. Рыхление целесообразно проводить поздней осенью в период, когда

заканчиваются дожди и начинаются заморозки.

Рыхлый сухой слой имеет меньшую теплопроводность, чем естественный плотный и промерзает на глубину 10-40 см; при разработке легко крошится зубьями экскаватора. При таком способе разработки количество мерзлых кусков, попадающих в приемные бункера завода, даже в сильные морозы не превышает 10 %.

Разработка песка гидронамывом. При разработке месторождения обводненного песка способом гидронамыва песчаная пульпа подается в определенную точку намывной карты, где происходит естественная классификация песка по крупности: в начале карты выпадают крупные частицы, а мелкие - в конце карты. В результате при использовании длинных намывных карт наблюдается нестабильность песка по зерновому составу на всей протяженности карты, к тому же мелкие фракции могут смываться, что ухудшает формуемость шихты.

Для устранения этого недостатка следует создавать небольшие намывные карты (размером 25x25 м) и подавать пульпу по их центру. На периферии карты окружают песчаными валами высотой до 1 м, через которые, фильтруясь, удаляется вода. Все фракции песка остаются на карте.

Для регулирования зернового состава песка при гидронамыве целесообразно пропускать пульпу через гидроклассификатор, позволяющий выделить каменистые включения и разделить песок на фракции. Песок различных фракций подают на соответствующие карты, а затем, отбирая из них песок в необходимых количествах, подготавливают шихту определенного зернового состава.

Шихтовка песка может производиться непосредственно в забое при добыче его экскаватором. Для этого отбирают песок тонким слоем по всей высоте забоя либо смешивают, кроме того, пески из разных участков забоя смешивают в транспортных средствах либо на специально отведенном участке карьера.

Прием песка на заводе. На заводах для приема песка устраивают бункера, высота которых не должна превышать 3 м, чтобы избежать значительного давления песка на ленточные питатели. Наклон стенок бункеров к горизонту – не менее 60° . Снаружи бункеров устанавливают паровые змеевики, закрываемые снаружи слоем теплоизоляции. Сверху бункера перекрываются заградительными решетками. Вместимость каждого бункера 15-25 м³. Число бункеров определяется видом транспорта, мощностью завода, дальностью перевозки, числом фракций песка, складироваемых отдельно.

Суммарная емкость бункеров должна обеспечить бесперебойную работу завода в течение 1,5 часов.

При отдаленности карьера и наличии мороженого песка в зимнее время необходимо увеличивать емкость бункеров, доводя их до суточного потребления завода. Также следует обеспечивать запас такого песка в отапливаемых хранилищах. На ряде заводов на зимний период времени создается запас песка для непрерывной работы производства в течение нескольких месяцев.

Технологическая подготовка песка на заводах.

В песке могут содержаться включения (камни, галька, глина, корни деревьев и т.п.). Крупные включения отделяются на предохранительных решетках, устанавливаемых на приемных бункерах. Решетки - колосниковые (зазор между колосниками составляет 80-100 мм); расположены с уклоном 10-15°. По мере накопления кусков они убираются.

Зимой на решетке скапливается большое количество смерзшегося песка (до 20 % от общей массы), который можно дробить установленными на дробильной машине фрезами. Машина перемещается по рельсам вдоль бункеров.

Возможно удаление мороженого песка в отдельный небольшой бункер, в котором проводится оттаивание паровыми регистрами.

Можно проводить дробление смерзшихся комков и в молотковых дробилках.

Шихтовка песков различной крупности проводится для снижения межзерновой пустотности песка и расхода вяжущего. Дошихтовка может проводиться песком из отходов (отсевы дробления, шлаки). Для этого бункера, в которых складировались разные фракции песка, оборудуются ленточными питателями и отдозированный песок подается на общий конвейер.

Просев песка достаточно сложная и трудоемкая операция, учитывая наличие в нем влажных комков глины и смерзшегося песка, но на заводах прибегают к ней. Используют сита (грохоты) с крупной ячейкой – 30х30 мм, а более мелкие включения выделяют впоследствии из уже погашенной смеси на ситах с отверстиями 10х10 мм.

Для исключения слипания прошедших через дробилку комочков суглинка следует их припудривать известью и направлять в производство. Камни также можно использовать в технологии после дробления до размеров песчаной фракции.

4.5 Подготовка вяжущего

Прием компонентов. При использовании заводом привозных извести, шлаков и других компонентов вяжущего их, как правило, доставляют железнодорожным транспортом. Известь комовая поступает сухая, а шлаки и другие отходы - влажными. Хранение извести целесообразно осуществлять в силосах, емкость которых должна достигать емкости 15-20 вагонов.

Белитовый шлам доставляют в сухом виде вагонетками с пневмовыгрузкой. Шлаки и золы - открытыми полувагонами или на платформах и складировать на открытых складах. Золу-унос ТЭС доставляют цементовозами или на платформах и складировать в силосах.

Подготовка компонентов. Компоненты, подвергаемые отдельно сухому помолу, предварительно высушивают до влажности равной 1-1,5 % в сушильных барабанах. Крупность зерен компонентов не более 10 мм.

Комовая известь сначала дробится: при размере кусков менее 80 мм - сразу в молотковой дробилке, а при размере кусков более 80 мм - сначала в

щековой, а затем в молотковой дробилках. При зазоре между колосниками около 6-8 мм продукт дробления будет содержать порядка 50 % частиц, проходящих через сито № 021 (900 отв./см²). Дробилка должна работать под аспирацией.

Дозирование компонентов. Дробленая известь и влажный песок дозируются обычно объемными тарельчатыми питателями. Важно обеспечить точность дозирования. Для объемных питателей точность дозирования определяется двумя факторами:

1) насыпной плотностью материала, которая изменяется в зависимости от его влажности и крупности;

2) коэффициентом заполнения сечения воронки питателя материалом.

Карьерная влажность песка составляет 5-6 %. При этом он имеет наибольший объем и наименьшую насыпную плотность. При изменении влажности на 2-3 % средняя насыпная плотность возрастает на 5-6 %. Сыпучесть сухого песка и степень заполнения им сечения воронки выше, чем влажного. Поэтому фактическая масса дозируемого песка больше на 21 % для сухого и меньше на 11 % для влажного от его расчетной величины, а суммарная ошибка достигает 32 %.

Для извести колебания в дозировании из-за изменения насыпной плотности и скорости истечения из питателя могут достигать 49 %. Таким образом, точное дозирование компонентов объемными дозаторами невозможно и следует использовать весовые дозаторы, работающие с точностью дозирования около ± 3 % для указанных компонентов.

Смешение компонентов. Для производства вяжущего заводы используют, как правило, негашеную известь и песок влажностью 5-7 %. При их смешении часть влаги песка расходуется на гашение извести, а часть около 50 % испаряется за счет тепла гидратации извести. Если этот процесс происходит в мельнице, то влага с аспирационным воздухом попадает в аспирационную систему и может там конденсироваться (особенно зимой), замазывая рукава рукавных фильтров и выводя их из строя. Этого можно избежать, осуществляя смешение извести и влажного песка вне корпуса мельницы. Целесообразно применение лопастных мешалок. При использовании мелкодробленой извести смесь из мешалки можно сразу же направлять в мельницу, в противном случае смесь направляют в бункера и после вылеживания в них смесь направляют в мельницу.

Помол компонентов вяжущего. Размол компонентов вяжущего можно проводить как совместно, так и отдельно. В последнем случае при использовании крупных песков целесообразно прибегать к мокрому помолу, так как при этом возрастает производительность мельниц и отсутствует пылевыделение. Граншлак и белитовый шлам (а также ряд других подобных компонентов) необходимо размалывать по сухой схеме, так как во влажном состоянии они способны отверждаться. При совместном размолу извести с кварцевым песком расход энергии для получения песка одинаковой удельной поверхности растет по мере уменьшения содержания песка в смеси, что объясняется буферным действием извести (быстрее измельчается). Расход

энергии для получения вяжущего одинаковой удельной поверхности зависит от его состава и возрастает по мере уменьшения содержания извести. Тонкость помола вяжущего рекомендуется определять не по удельной поверхности, а по остатку на контрольных ситах (либо по удельной поверхности кремнеземистого компонента).

При использовании песков с высоким содержанием тонкодисперсной кремнеземистой фракции (менее 0,08 мм), которая может выполнять роль кремнеземистого компонента, целесообразно проводить размол только извести. Но так как размол чистой извести может приводить к замазыванию корпуса мельницы и намазыванию на шары, то рекомендуется добавлять при помоле кварцевый песок в количестве от 10 до 15 % (можно и с карьерной влажностью). При помоле чистой извести оптимальный размер шаров составляет 20-25 мм. Оптимальный коэффициент заполнения барабана мельниц мелющими телами - 0,4 при частоте вращения - $0,75n_{\text{крит.}}$. Заполнение мельницы размалываемым материалом - 0,1-0,12 внутреннего объема. На помол необходимо подавать дробленую известь, так как в противном случае при совместной подаче с песком известь размером кусков около 40 мм в первой камере будет происходить только дробление извести; песок практически не размалывается. Во второй камере начинается помол песка, но вследствие ограниченности длины камеры песок размолотся не успевает, что вынуждает снижать производительность мельниц. Использование ПАВ значительно улучшает размалываемость шихты. Необходимо также обеспечивать равномерное питание мельниц, что также гарантирует максимальную производительность и тонкость помола шихты.

4. 6 Проектирование состава силикатной смеси

При проектировании состава силикатной смеси в первую очередь необходимо исходить из условия получения достаточно прочного сырца, а затем уже в процессе автоклавной обработки — цементирующей связки такого фазового состава и в таком количестве, которые бы обеспечивали заданные свойства силикатного кирпича — прочность, морозостойкость, долговечность. Не следует стремиться к достижению максимальной прочности кирпича, так как это может быть связано со значительными затратами на его производство; необходимо обеспечить такой состав и технологию, которые гарантировали бы получение кирпича со строго заданными свойствами при наименьших затратах.

4.6.1 Проектирование состава силикатной смеси для получения сырца заданной прочности

Прочность сырца определяется следующими факторами:

- гранулометрией песка;
- содержанием в смеси вяжущего;
- количеством в вяжущем коллоидных частиц;
- формовочной влажностью;

- удельным давлением прессования;
- длительностью приложения нагрузки.

Основой прочности сырца является натяжение воды в менисках его микрокапилляров (капиллярное давление), создаваемых коллоидными частицами вяжущего, размещенными между частицами (зернами) песка. Для обеспечения сырцу прочности, необходимой для устойчивой работы автоматов-укладчиков, следует стремиться к увеличению количества микрокапилляров в его структуре. Это достигается улучшением гранулометрии песка - заполнителя, увеличением дисперсности вяжущего и назначением его расхода в соответствии с гранулометрией песка. Достаточную прочность сырца на основе многофракционных песков можно обеспечить улучшением гранулометрии песков путем добавления 20-25 % в 3-4 раза более мелких или 10-15 % более крупных песков. В противном случае в силикатную смесь необходимо вводить до 20 % и более вяжущего жирного состава (И:К=1,5:1). Необходимая прочность сырца определяется:

- видом кирпича (полнотелый, пустотелый, размер кирпича, число пустот, их расположение, размеры);
- системой автоматов для съема и укладки сырца со стола пресса на вагонетки;
- видом запарочных вагонеток, состоянием их поверхности и откатных путей.

При съеме и укладке сырца различного размера и пустотности в нем возникают напряжения. Съемочная прочность сырца (то есть прочность при сжатии двух уложенных постелями друг на друга сырцов) должна иметь запас, который обычно принимают равным двум по отношению к суммарным напряжениям (для одинарного полнотелого кирпича равна 0,34 МПа). На запарочных вагонетках на нижний ряд сырца передается давление от вышележащих рядов. При наличии неровностей на платформе тележки в сырце возникают изгибающие напряжения, которые могут значительно превысить съемочную прочность сырца. Особенно опасны они для многопустотного утолщенного сырца, установленного на ложок. Поэтому многопустотный кирпич укладывают на вагонетки только на постель. В зависимости от требуемой прочности сырца можно приближенно найти необходимое содержание дисперсной муки (вяжущего):

- при использовании известково-кварцевого вяжущего

$$P = \frac{10R_c + 1,75}{0,36} \quad (60)$$

- при использовании известково-глино-кварцевого вяжущего

$$P = \frac{10R_c + 2}{0,335} \quad (61)$$

где P - содержание дисперсной муки, % от массы сухой смеси;

R_c – требуемая прочность сырца, МПа.

Количество укрупняющей добавки, в %, необходимой для получения сырца заданной прочности

$$R = 4,35(10R_c - 1) \quad (62)$$

Эти данные являются ориентировочными и требуют уточнения для конкретных сырьевых материалов, так как для однородных мелкозернистых песков с большей пустотностью чем у разнородных требуется больше вяжущего. Прочность сырца также зависит и от влажности формовочной смеси. При ее значениях близких к оптимальной прочность сырца возрастает при понижении влажности. Иная закономерность наблюдается для прочности запаренных образцов: их прочность повышается при повышении влажности.

4.6.2 Выбор вяжущего

Как ранее отмечалось в качестве компонента вяжущего можно использовать кальциевую и магнезиальную известь, отходы промышленности. При использовании извести для обеспечения нормального хода технологического процесса необходимо учитывать ее взаимодействие с влажным песком, сопровождающееся выделением пара, что приводит к замазыванию мельниц и зависанию смеси в бункерах и силосах. Для исключения замазывания мельниц влажность смеси не должна превышать 1-1,5 %. Если вяжущее на выходе из мельницы содержит не погасившуюся известь, то ее необходимо погасить. Это достигается смешиванием вяжущего с песком (заполнитель), имеющим карьерную влажность, и выдерживанием смеси в силосах. Для обеспечения равномерного выхода смеси из реакторов непрерывного действия влажность на выходе не должна превышать 3,5 %; а при гашении в реакторах периодического действия - 4,5 %.

При недостаточном количестве вяжущего песок необходимо предварительно подсушивать в сушильных барабанах либо в силоса направлять часть песка, а остальной вводить позже.

При использовании товарной кальциевой извести, поставляемой специализированными предприятиями, а также обжигаемой непосредственно на предприятиях силикатного кирпича ориентируются на ее активность равную 65-75 %; при поставке транспортом активность снижается до 50-60 % . Это позволяет осуществлять размол извести с песком карьерной влажности без предварительной подсушки песка при соотношении И:К=1:1. При влажности песка около 6 % известь в реакторе полностью загашивается, а формовочная смесь нагревается до 50-60 °С; влажность составляет около 3,5 %. Гашение полностью протекает за 3-4 часа. При содержании в формовочной смеси вяжущего состава И:К=1:1 прочность сырца и запаренного кирпича достигает, МПа: 0,3-0,4 и 15-20, соответственно, при 15 % содержании вяжущего в смеси и 0,5-0,7 и 25-35 при 20 % вяжущего.

Магнезиальная известь. При обычных температурах обжига извести (около 1050 °С) оксид магния MgO пережигается (значительно уплотняется). Гидратация такой извести протекает замедленно и может наблюдаться даже в процессе запаривания, что при содержании MgO более 5 % может привести к появлению трещин в кирпиче и потере прочности. Для устранения этих явлений существуют 2 способа:

1) гашение магнезиальной извести в гасильных барабанах под давлением равным 0,5-0,6 МПа в течение одного часа;

2) введение в состав шихты активных добавок, вступающих в реакцию с СаО уже в начале запаривания в автоклаве и создающих прочный каркас, препятствующий разрушению кирпича при позднем гашении пережженного MgO.

Гасильные барабаны отличаются несовершенной конструкцией, поэтому практически не применяются. Введение в погашенную силикатную смесь 5-10 % активных тонкомолотых добавок ($S_{уд}=2-3$ тыс. см²/г) - трепел, золы ТЭС - позволяет обеспечить быстрый рост прочности запариваемого кирпича и избежать его разрушения. Прочность кирпича на магнезиальной извести на 15-20 % ниже, чем на кальциевой при одинаковой их дозировке.

Пыль-унос цементных печей. На некоторых заводах пыль вводят взамен части извести, что позволяет снизить расход извести и повысить марочность кирпича. Так на Каунасском заводе «Битукас» при добавлении на 1 тыс. шт. усл. кирпича 205 кг пыли Акмянского цементного завода удельный расход извести снизился на 104 кг, а средняя марка кирпича повысилась на 14 %. При этом суммарное количество вяжущего (известь и пыль-унос) увеличилось, что сопровождалось ростом прочности сырца. Однако в присутствии пыли-уноса снижается скорость гашения извести, что вынуждает предварительно подогревать смесь до 70 °С и увеличивать время ее выдержки в силосах. При этом наблюдается взаимодействие извести с аморфизованными глинистыми минералами, а также гидратация клинкерных минералов, что приводит к схватыванию смеси в силосах и затрудняет ее выгрузку. Поэтому такая технология применима только на заводах, оборудованных гасильными барабанами, в которых осуществляется непрерывное перемешивание смеси.

Золы ТЭС. Золы ТЭС могут быть использованы в качестве компонента вяжущего, а крупные фракции золошлаковых смесей и в качестве заполнителя. Лучше использовать известково-золо-кремнеземистое вяжущее, чем известково-зольное, но и оно хуже, чем известково-кремнеземистое, хотя и позволяет снизить расход извести. Использование зол снижает прочность сырца и для повышения прочности до величины, достаточной для машинной съемки со стола пресса необходимо увеличивать расход вяжущего и тонкость его помола. Кроме того, возникают сложности с использованием зол из золоотвала, так как они имеют высокую влажность и возникает необходимость сушки либо зол, либо песка.

4.6.3 Проектирование состава силикатной смеси для получения кирпича заданной прочности

Большинство заводов работают на извести и кремнеземистом (кварцевом) песке. Поэтому рассмотрим основные положения по проектированию смесей на их основе. Наибольшая прочность силикатных образцов, а также их долговечность обеспечивается при использовании смеси состава $\text{CaO}:\text{SiO}_2=0,6-0,7$, обеспечивающем необходимое количество в цементирующей связке смеси высоко- и низкоосновных гидросиликатов. Первые придают изделиям высокую стойкость при замораживании и карбонизации, а вторые - высокую начальную прочность и стойкость в агрессивных средах. По мере повышения дисперсности кремнезема ускоряется образование гидросиликатов кальция при прочих равных условиях автоклавной обработки, однако тонкость помола кварца ограничивают $S_{уд}=2000 \text{ см}^2/\text{г}$ по экономическим соображениям. Тонкость помола вяжущего (И+К) на основе кварцевого песка составляет $4500-5000 \text{ см}^2/\text{г}$, а на основе суглинков (содержат тонкодисперсные зерна кварца и полевого шпата, цементированные коллоидными глинистыми минералами) - $5500-6000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Поскольку в применяемой на заводах извести содержание активной CaO составляет 65-75 %, а в кварцевом песке содержание SiO_2 - 90-95 %, то соотношение в вяжущем извести и песка должно быть равно И:К=1:1. При том же расходе вяжущего состава И:К=1,5:1 прочность кирпича ниже на 5-7 % в сравнении с вяжущим состава И:К=1:1.

Прочность кирпича на кварцево-полевошпатных песках на 15-25 % ниже, чем на кварцевых (при соотношении И:К=1:1).

Прочность кирпича определяется и величиной вяжущеводного отношения в формовочной смеси. Эта зависимость отражена на рисунке 42.

Эта зависимость имеет линейный характер и отвечает уравнению

$$R = 11,5(C / B - 2) + C \quad (63)$$

Для кварцевых песков можно принять

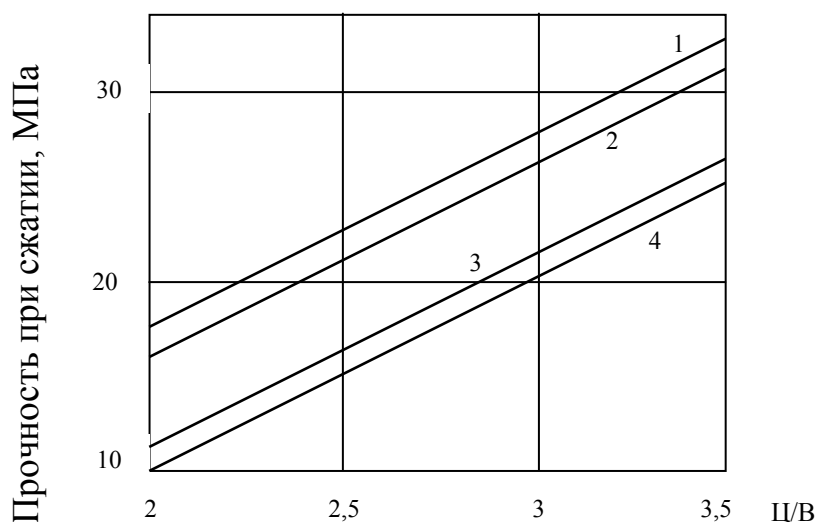
$$R = 11,5(C / B - 2) + 15, \text{ МПа} \quad (64)$$

Для кварцево-полевошпатных

$$R = 11,5(C / B - 2) + 10, \text{ МПа} \quad (65)$$

Установлено, что необходимая съёмочная прочность сырца - 0,35-0,5 МПа и марки кирпича по прочности 200 и морозостойкости F50 достигаются при содержании в силикатной смеси 18-19 % известково-кремнеземистого вяжущего. Но эти результаты достигают при соблюдении основных технологических условий:

- стабильный состав и достаточная дисперсность вяжущего;
- весовое дозирование компонентов и их тщательное первичное смешение;
- полная гидратация извести в смеси;



- 1 – кварцевые пески (И:К = 1:1); 2 – то же (И:К = 1.5:1)
 3 – кварцево-полевошпатные пески (И:К = 1:1);
 4 – то же (И:К = 1.5:1)

Рисунок 42 – Зависимость прочности кирпича от вяжущевого отношения

- обработка гашеной силикатной смеси и доведение ее до оптимальной влажности в стержневых смесителях;
- формование сырца при давлении 18-20 МПа;
- запаривание кирпича при температуре 175 °С в течение 5-6 часов.

Учитывая формовочную влажность смесей, равную 5-7 % для полнотелого и 4,5-6 % для пустотелого кирпича и камней, можно определить состав смеси на известково-кремнеземистом вяжущем. Для смесей на основе кварцевых песков

$$Ц / В = \frac{R + 8}{11,5} \quad (66)$$

а на основе полевошпатных песков:

$$Ц / В = \frac{R + 13}{11,5} \quad (67)$$

где R- заданная прочность кирпича, МПа.

При расчете состава силикатной смеси для изготовления пустотелых изделий необходимо учитывать снижение их прочности по сравнению с полнотелыми, изготовленными из той же смеси. Это снижение прочности

необходимо компенсировать повышением прочности материала (смотри рисунок 43). Так для получения прочности 20 МПа для камней с пустотностью 25 % необходимо рассчитывать состав смесей как для полнотелого кирпича прочностью $20/0,6=33,3$ МПа.

Удельный расход вяжущего при производстве пустотелых кирпичей снижается из-за пустотности изделий в сравнении с полнотелыми изделиями.

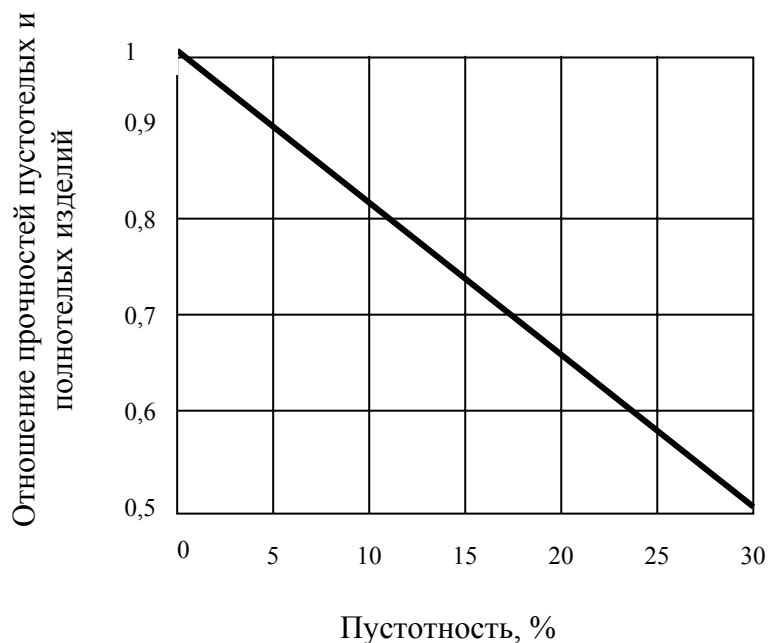


Рисунок 43 - Изменение прочности кирпича в зависимости от его пустотности

4.6.4 Уточнение составов вяжущих и смесей из конкретных видов сырья

В связи с различием минералогического и гранулометрического составов песков и качества извести, применяемых в производстве силикатного кирпича, подобранные составы вяжущего и силикатной смеси следует уточнять для конкретных материалов, применяемых на данном предприятии.

Установлено, что одинаковая удобоформуемость прессованных силикатных смесей различного состава достигается при их влажности равной максимальной молекулярной влагоемкости ММВ.

Под ММВ глины понимается относительное количество влаги, которое остается в глиняном диске диаметром 50 мм и толщиной 2 мм после его обжата между несколькими слоями фильтровальной бумаги на гидравлическом прессе при давлении 6,5 МПа в течение 10 минут. Для силикатного кирпича ММВ определяют при давлении 18 МПа, близком к тому давлению, при котором формируют силикатный кирпич. Величина ММВ зависит от удельной поверхности песка и вяжущего, вида вяжущего и его содержания в силикатной смеси. ММВ выше при использовании известково-глинистого вяжущего в сравнении с известково-кремнеземистым, а также при увеличении

удельной поверхности песка (как заполнителя) и при повышении содержания вяжущего).

Для уточнения составов вяжущих и силикатных смесей необходимо назначить несколько композиций вяжущего близких к оптимальному. Для известково-кремнеземистого вяжущего оптимальным является состав И:К=1:1. Поэтому целесообразно опробовать составы: 1. И:К=1:1; 2. И:К=1:1,5; 3. И:К=1,5:1; 4. И:К=1:0.

Компоненты вяжущего смешивают в заданных соотношениях и размалывают до удельной поверхности 4500- 5000 см²/г. Затем 25 % каждого вяжущего смешивают с 75 % песка и увлажненные смеси гасят в теплоизолированных сосудах. Загашенные смеси обрабатывают на лабораторных бегунах либо шаровой барабанной мельнице и при давлении 18 МПа определяют их ММВ.

Затем смеси на вяжущих различных составов доводят до установленной для каждой смеси ММВ и при давлении 20 МПа формуют из них по 6 образцов диаметром и высотой равными 65 мм. По три образца сразу же испытывают на прочность при сжатии, а остальные запаривают по принятому на заводе режиму. Через 1 сутки испытывают на прочность при сжатии запаренные образцы и выбирают оптимальный состав вяжущего. Он должен сочетать достаточную прочность сырца и запаренных образцов при возможно меньшем расходе извести.

При использовании не известково-кремнеземистого, а другого вида вяжущего, например, известково-шлакового либо известково-золяного, оптимальный состав подбирают по той же методике, но на большем количестве составов: применяют трехкомпонентные составы вяжущих с кремнеземистой составляющей и сравнивают с известково-кремнеземистым вяжущим.

Для определения состава силикатной смеси, обеспечивающей заданную прочность сырца и кирпича на конкретном сырье, составляют по выше изложенной методике шихты из 10, 15, 20 и 25 % ранее выбранного вяжущего оптимального состава и соответственно 90, 85, 80 и 75 % карьерного песка. Проводят гашение смесей и определение их ММВ. Доводят смеси до ММВ, формуют образцы-сырцы и испытывают свежесформованные и запаренные образцы.

По результатам испытания строят график зависимости прочности запаренных образцов от вяжущего/водного отношения Ц/В. Затем по этому графику находят Ц/В, при котором получается заданная прочность кирпича, а по соответствующей формовочной влажности – необходимое содержание вяжущего в силикатной смеси

$$Ц = \frac{Ц}{В} \cdot В \quad (68)$$

Затем строят график зависимости прочности сырца от содержания вяжущего в смеси и проверяют соответствует ли она заданной. Если окажется,

что при существующей гранулометрии песка, обычных способах уплотнения, принятом составе вяжущего и его содержании в смеси прочность сырца окажется ниже требуемой, то, прежде всего, следует улучшить гранулометрию смеси путем шихтовки двух песков, отличающихся по своим средним размерам в 3-4 раза, что уменьшает пустотность песчаной шихты. При этом можно получить достаточно прочный сырец при обычном расходе вяжущего.

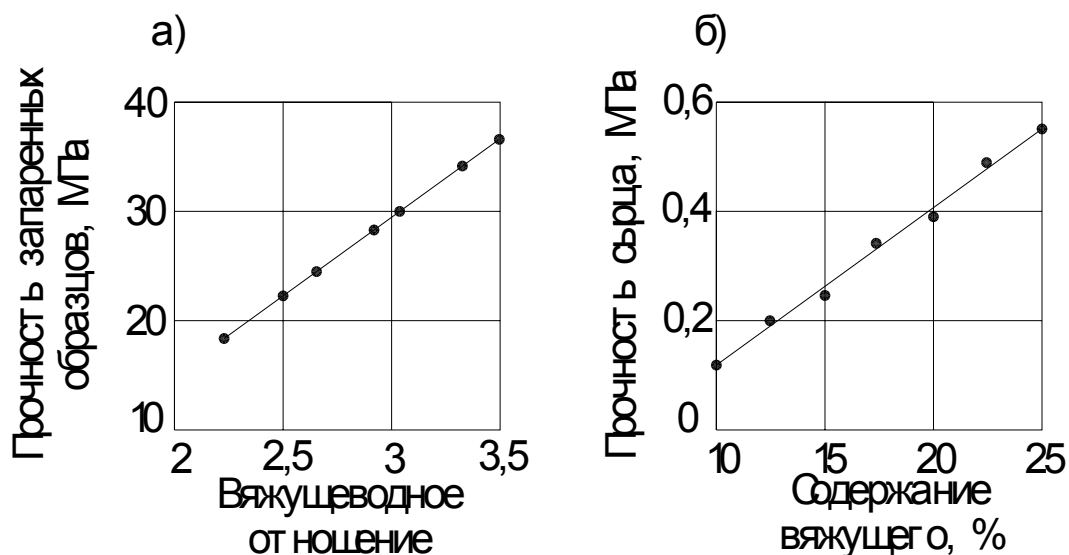


Рисунок 44 - Зависимость прочности запаренных образцов от вяжуще-водного отношения Ц/В (а) и прочности сырца от содержания вяжущего Ц (б)

Если такая возможность отсутствует (нет нужных песков), то тогда вместо кварцевого песка с известью размалывают суглинки, обычно находящиеся в подстилающих либо покровных слоях песчаных месторождений. Суглинки содержат 20-25 % частиц коллоидных размеров (глинистых), которые наряду с известью создают микрокапилляры в сырце, повышающие его прочность.

При наличии крупного песка монофракционного состава, часть его (5-10 %) можно грубо размолоть и, таким образом, улучшить гранулометрию смеси.

При использовании только мелких монофракционных песков их гранулометрия может быть улучшена вводом укрупняющих добавок.

4.7 Приготовление силикатной смеси

4.7.1 Дозирование и предварительное смешение компонентов

Основной задачей этих операций является получение однородной смеси. Состав смеси может колебаться в значительных пределах вследствие ряда причин:

- изменение свойств исходных компонентов (зерновой и химический составы, влажность, насыпная плотность);
- неточность работы дозирующих устройств;
- зависание материалов в бункерах;
- несовершенство транспортирующих устройств.

Однородность смеси оценивается по следующим параметрам:

- распределение влажности;
- содержание активной извести;
- содержание глинистых частиц, крупных и мелких зерен песка в различных участках смеси в один и тот же момент времени или в разное время на одном и том же участке.

Для оценки однородности смеси отбирают пробы материала на одном и том же участке смесителя в разное время или на разных участках в одно и то же время. Оценка однородности смеси проводится по коэффициенту однородности рассчитываемому по формуле

$$K_{\text{одн}} = 1 - 2C_v \quad (69)$$

где C_v – коэффициент вариации

В ГОСТ 379-95 для определения марки силикатного кирпича заложено значение коэффициента однородности $K_{\text{одн}} = 0,7$; при этом коэффициент вариации C_v должен быть $C_v \leq 0,15$. Поскольку на каждой из основных технологических операций (приготовление смеси, формование сырца, автоклавная обработка) накладываются свои ошибки и случайности, приводящие к неоднородности свойств, можно считать, что коэффициент вариации $C_{v \text{ общ.}} \leq 0,15$ будет обеспечен лишь в том случае, если на каждой из технологических операций коэффициент вариации будет иметь значения

$$C_v \leq \frac{C_v}{\sqrt{3}} \quad (70)$$

В этом случае значение коэффициента вариации на каждом из переделов не должно превышать $C_v \leq 8,7 \%$.

Наибольшая однородность смеси достигается при весовом порционном дозировании и порционном смешении компонентов, т.к. в этом случае перемещение отдельных частиц осуществляется по сложным взаимно пересекающимся траекториям. При непрерывном смешении отдельные мелкие порции смеси перемещаются последовательно через мешалку на некотором удалении друг от друга.

При объемном дозировании компонентов и непрерывном смешении в лопастных двухвальных мешалках коэффициент однородности составляет 0,66, тогда как при порционном весовом дозировании и смешении в противоточных

смесителях периодического действия коэффициент однородности достигает 0,95.

Основным условием непрерывной равномерной подачи материала дозатором является достаточное поперечное сечение их приемных устройств, позволяющее материалу свободно проходить в дозирующие части аппарата.

Другим условием является правильная конструкция их выпускных отверстий, определяемых свойствами дозируемых материалов. Так для песка минимальные размеры отверстий, в мм, составляют:

- 150x150 – сухой песок;
- 450x450 – влажный песок.

Пересчет прямоугольных отверстий на круглое производится по формуле

$$d_3 = \frac{4S}{u} \quad (71)$$

где d_3 – диаметр отверстия;
 S – площадь сечения отверстия;
 u – его периметр.

Несмотря на отмеченные достоинства весовых порционных дозаторов и смесителей периодического действия, их установка на заводах силикатного кирпича вызывает значительные затруднения вследствие их больших габаритов и необходимости помещений большой высоты. Поэтому наиболее рационально использование весовых дозаторов непрерывного действия с достаточной величиной питательной воронки (600x1000 мм у дозаторов конструкции института ВНИИСтром) либо с вибрационным механизмом.

Дозаторы должны комплектоваться системой блокировки, чтобы при прекращении подачи материала одним из дозаторов (по той либо иной причине) автоматически останавливались дозаторы других компонентов.

В качестве смесительного оборудования на заводах силикатных стеновых материалов, как правило, используют лопастные смесители непрерывного действия, осуществляющие перемешивание материала лопастями, закрепленными на валу и расположенными по винтовой линии. Угол наклона лопастей к оси вала составляет 15-30°. Двухвальные смесители более эффективны, чем одновальные, т.к. в этом случае увеличивается путь, проходимый материалом при перемешивании. Эффективность и производительность смесителей возрастают при увеличении числа оборотов вала смесителя. Для двухвальных смесителей число оборотов увеличивают до 90-100 об/мин. Но в этом случае нужно отсеивать от песка камни и мерзлые комья, т.к. может произойти поломка лопастей.

На старых заводах, как правило, применяют низкооборотные смесители для двухстадийного смешения компонентов: в первой мешалке производят сухое перемешивание компонентов, а во второй – увлажненной смеси. Это связано с тем, что серийные мешалки имеют ограниченную длину – около 2,5 м. Через них обычно пропускают около 60-70 м³/ч смеси при паспортной

производительности мешалки 35 м³/ч, что снижает качество смеси при одностадийном перемешивании.

В настоящее время выпускаются быстроходные двухвальные лопастные смесители СМС-95 с активной длиной корыта 3,5 м и частотой вращения вала 92 об/мин. Материал в них находится в псевдооживленном состоянии, что обеспечивает хорошее перемешивание компонентов при производительности 95 м³/ч. При их использовании отпадает необходимость в двухстадийном перемешивании.

Лопастные смесители первичного перемешивания снабжены перфорированными трубками для подачи воды и острого пара, необходимого для гидратации медленно гасящейся извести.

4.7.2 Гашение извести

Гашение извести производят до прессования изделий, т.к. при завершении гашения в уже отформованном сырце может наблюдаться его разрушение. Схема гашения извести определяется составом вяжущего. Если в него, наряду с известью, входят пыль цементных печей, шлаки металлургические и тому подобные компоненты, то для исключения преждевременного схватывания вяжущего, гашение извести должно проводиться отдельно; и в этом случае при использовании песка с карьерной влажностью выше влажности формовочной смеси необходимо предварительно подсушивать песок.

Известь и известково-кремнеземистое вяжущее гидратируют вместе (в смеси) с влажным песком.

Для ускорения процесса гидратации извести могут быть использованы следующие мероприятия:

- гашение в барабанах паром при температуре приблизительно 130-150 °С; в этом случае время гашения не превышает 25-35 мин;
- применение активаторов – солей и кислот слабой концентрации, - дающих в результате реакции с известью хорошо растворимые соли; длительность гашения сокращается в 1,5-2 раза в сравнении с гашением чистой водой;
- повышение начальной температуры процесса до такого уровня, при котором гидратация извести протекает уже с большей скоростью; длительность гашения от 20 минут до 1,5 часов;
- увеличение дисперсности извести в процессе её помола, в связи с чем возрастает площадь её контакта с водой.

Наибольшее влияние на скорость гидратации оказывают повышение начальной температуры процесса гашения (до 60 °С); для пережженной извести важна также дисперсность извести. Оптимальная температура гашения извести - 75-80 °С, - обеспечивается при гидратации извести в смеси с влажным песком и эти условия хорошо поддерживаются только в силосах периодического или непрерывного действия.

Силоса периодического действия характеризуются циклическим режимом работы: смесь загружают в силоса, выдерживают в них до полного гашения извести, а затем выгружают из силосов.

В силосах непрерывного действия – реакторах, - все три перечисленные операции совершаются непрерывно; основная из них – гашение извести протекает за время прохождения смеси через реактор. Основной задачей является обеспечение равномерного опускания смеси по всему поперечному сечению реактора. Это достаточно сложная задача, решить которую возможно с учетом законов движения сыпучих материалов и создания рациональных конструкций разгрузочных устройств реакторов.



Рисунок 45 - Движение сыпучих материалов в бункерах

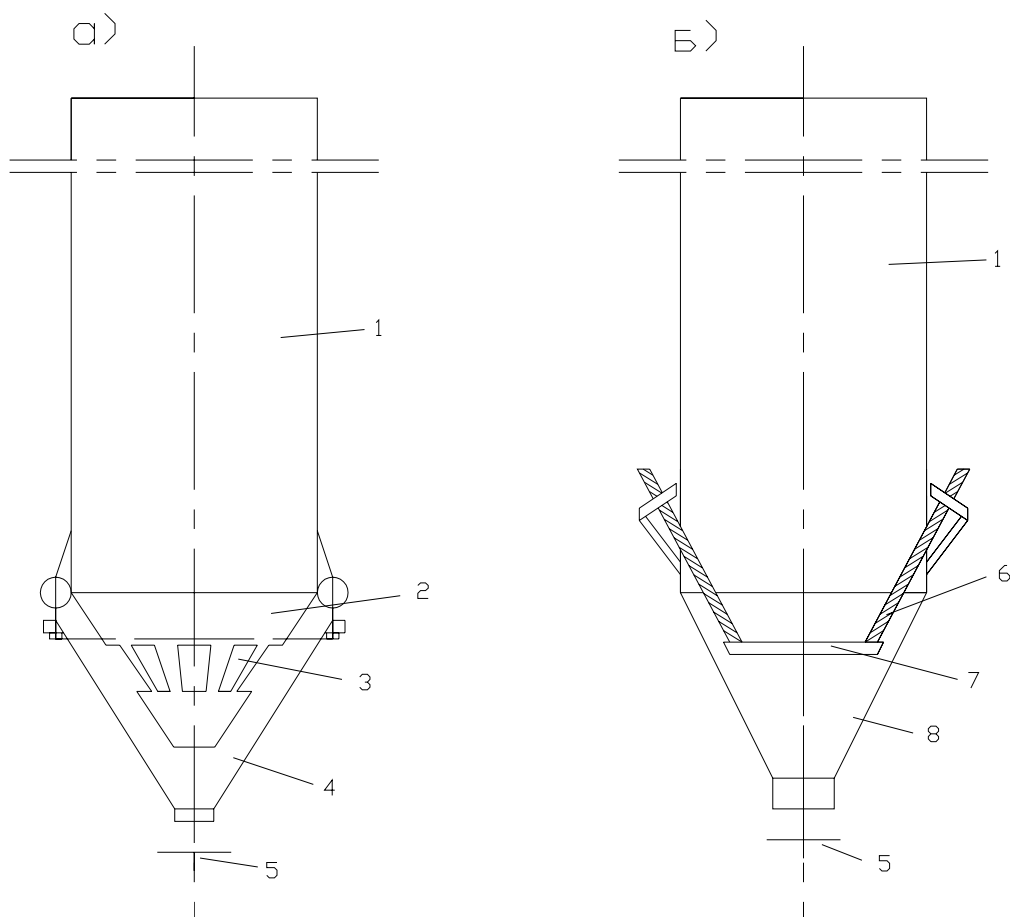
При выгрузке бункера в начальный момент (открытие выгрузочного отверстия) приходит в движение весь столб сыпучего материала, поверхность которого в течение некоторого промежутка времени остается плоской (гидравлическое течение). Затем на ней образуется провал, который по мере опорожнения сосуда переходит в воронку, постепенно приобретающую четкое коническое очертание. В этот момент гидравлический вид течения переходит в нормальный. Нормальный режим течения представлен на рисунке 45.

Для песка крупностью 0,5-1 мм устойчивое гидравлическое течение материала возможно при отношении высоты засыпки сосуда к его диаметру $H:D \geq 13$; при $H:D=13-3,7$ - наблюдаются неустойчивые чередования гидравлического и нормального течения; при $H:D < 3,7$ - нормальное течение.

Поскольку вверх от выпускного отверстия наблюдается расширение столба движущего в нормальном режиме материала, то устройство в днище нескольких выгрузочных отверстий создает несколько таких столбов, перекрывающихся вверху и обеспечивающих выгрузку материала по всему сечению бункера одновременно.

В одной из конструкций реакторов (1931-1932 гг. Хавкин Л.М.), рисунок 46, гашеная смесь в нижней части реактора опускается сквозь равномерно расположенные трапециевидальные окна внутренней воронки в пространстве между ней и наружной собирательной воронками. При этом над окнами образуются расширяющиеся кверху движущиеся струи материала, выше

пересечения которых смесь опускается равномерно по всему сечению реактора. Недостатком конструкции реактора, используемого в качестве силоса периодического действия, является то, что окна в суженной части замазываются, так как в этом месте их размер меньше критического для смеси влажностью $W=8-9\%$ падающей с большой высоты при загрузке силоса. При установке таких реакторов в качестве силосов непрерывного действия и правильном взаимном расположении воронок при диаметре силоса 4 м и высоте цилиндрической части 12 м, смесь в цилиндрической части реактора опускается равномерно почти до самого низа.



1 – корпус; 2 – внутренняя воронка; 3 – разгрузочные окна; 4 – наружная воронка; 5 – питатель; 6 – регулируемые тяги; 7 – диафрагма; 8 - воронка

Схемы реакторов

а –Петри и Хавкина; Б – ВНИИстрома

Рисунок 46 - Конструкции выгрузочных отверстий гасильных реакторов

Эти реакторы достаточно сложны по конструкции и в них возможно образование застойных зон на поверхности радиальных перемычек отверстий внутренней воронки.

Реактор конструкции ВНИИСтрома в разгрузочной части имеет диафрагму подвешенную к корпусу на регулируемых по длине тягах. В нем гашеная смесь проходит сквозь кольцевую щель между диафрагмой и стенками выгрузочной воронки реактора. Над щелью образуется кольцевая, расширяющаяся кверху, струя смеси. Выше пересечения струи со стенками реактора смесь опускается равномерно по всему его поперечному сечению. Под диафрагмой смесь находится в рыхлом состоянии и не подвергается давлению лежащих выше слоев. Поэтому зависание в воронке материала не происходит даже при влажной смеси.

Для обеспечения бесперебойной работы реакторов смесь не должна налипать на их стенки и, особенно, на поверхность разгрузочной воронки. Это достигается поддержанием влажности выходящей из аппарата гашеной смеси не более 3,5 %, утеплением стенок реактора снаружи, покрытием их изнутри термостойкими прочными эмалями, прорезиненной тканью, полимерами.

Гасильными аппаратами периодического действия являются силоса и гасильные барабаны. Силоса имеют одну либо две разгрузочные воронки с выходными отверстиями различной конфигурации и сечения. В качестве разгрузочных механизмов используют ленточные и тарельчатые питатели, лопастные смесители. При влажности смеси около 8-9 % она сильно уплотняется в нижней части силоса, и при разгрузке силоса возникают сложности.

При разгрузке силоса имеет место нормальное истечение смеси, в результате чего в первую очередь выгружаются верхние, позже всего загруженные слои смеси. Таким образом, длительность нахождения смеси в силосах определяется суммой времени гашения верхних слоев и длительностью загрузки.

Гасильные барабаны, имеющие малую частоту вращения, приблизительно 2,5 об/мин, являются плохим смешивающим аппаратом; полученная смесь имеет низкую однородность (по влаге). Гасильные барабаны имеют ряд эксплуатационных недостатков.

Площади, занимаемые гасильными барабанами больше, чем силосами при такой же производительности.

4.7.3 Обработка гашеной смеси

В процессе гидратации в силосах и реакторах известь диспергируется до очень маленьких частиц (около 1,1 мкм), размер которых значительно меньше, чем частицы молотой извести (около 105 мкм при остатке 1-2 % на сите 021). Из одной частицы молотой извести может получиться около 870000 частиц гашеной. Однако равномерного распределения этих частиц в смеси не наблюдается: частицы скапливаются в виде агрегатов, поскольку для уверенности в полном гашении извести в смесь вводится избыток воды, вызывающей агрегирование частиц гашеной извести.

Такая же картина наблюдается с частицами заполнителя, содержащего дисперсные кремнеземистые частицы – суглинки, кварцевая мука, опоки. Эти

частицы, как правило, содержат большое количество воды, что приводит к их агрегированию. К тому же, за счет тепла, выделяющегося при гашении извести, эти комочки подсыхают и упрочняются.

При разрушении комочков будет наблюдаться более равномерное распределение вяжущего по поверхности зерен заполнителя и кажущееся увеличение количества вяжущего.

Кроме того, в смеси наблюдаются более крупные комки уже частично схватившейся извести, что имеет место при определенном водоизвестковом отношении.

При наличии крупных включений глинистых примесей в песке и неэффективной схеме подготовки силикатной смеси может иметь место присутствие включений комков глины в силикатной смеси.

Таким образом, структура силикатной смеси после выгрузки из силосов характеризуется неоднородностью даже при хорошем предварительном перемешивании. Если из такой смеси отформовать кирпич, то включения остаются в нем в виде балласта – «изюма» и резко ухудшают качество: повышается водопоглощение, снижаются прочность и морозостойкость.

Наряду с этим имеет место перерасход извести.

Таким образом, видна необходимость тщательной подготовки силикатной смеси и перемешивания ее после гашения.

4.7.3.1 Методы воздействия на структуру и однородность массы

Комочки дисперсных зерен можно дезагрегировать несколькими способами: ударами, раздавливанием, перетиранием и совместным воздействием этих факторов.

Диспергирование ударным воздействием осуществляется в дезинтеграторах. Но разрушению подвергаются преимущественно крупные агрегаты, а на мелкие воздействие практически не оказывается.

При раздавливании влажных комочков они превращаются в лепешки, разламывающиеся на куски. Чем меньше влажность, тем на более мелкие куски рассыпаются комочки. Эффект раздавливания проявляется в большей степени при уменьшении расстояния между давящими органами (валками, катками и т.п.). Это расстояние должно быть не более среднего размера комочков.

Перетирание осуществляется при перемещении растирающих органов относительно друг друга. Разрушение осуществляется за счет сдвига.

Наиболее эффективно совместное воздействие раздавливания и истирания при многократном их воздействии на смесь.

Обработка смеси может осуществляться в следующих агрегатах: смесительные дезинтеграторы, лопастные двухвальные смесители с нормальным и повышенным числом оборотов, противоточные смесители и центробежные бегуны периодического действия, стержневые мельницы, валковые смесители-растиратели, стержневые смесители.

Смесительные дезинтеграторы представляют собой корпус, в котором размещены две концентрически расположенные друг относительно друга

корзинки, на каждой из которых закреплено по два ряда пальцев. Корзинки вращаются навстречу друг другу и частицы материала, попадающие на них, подвергаются многократному ударному воздействию.

Дезинтеграторы, в основном, измельчают комочки глины размером более 2,5 мм; содержание частиц менее 0,3 мм практически не изменяется. Таким образом, микроагрегаты извести и суглинка не разрушаются, поэтому не все частицы известково-кремнеземистого вяжущего принимают участие в процессе твердения. Тем не менее, улучшается формуемость смеси, прочность кирпича возрастает на 14-25 %. Несколько повышается морозостойкость.

Недостатки конструкции:

- 1) забивание смесью узкой течки машины;
- 2) разбалансировка малой корзинки при попадании в нее комков крупнее расстояния между пальцами первого ряда;
- 3) плохое измельчение глинистых включений при повышенной их влажности;
- 4) сильное налипание материала внутри кожуха дезинтегратора;
- 5) значительный износ колец, соединяющих 2 и 3 ряда пальцев (уже после переработки массы на 1,5-2 млн. шт. кирпича).

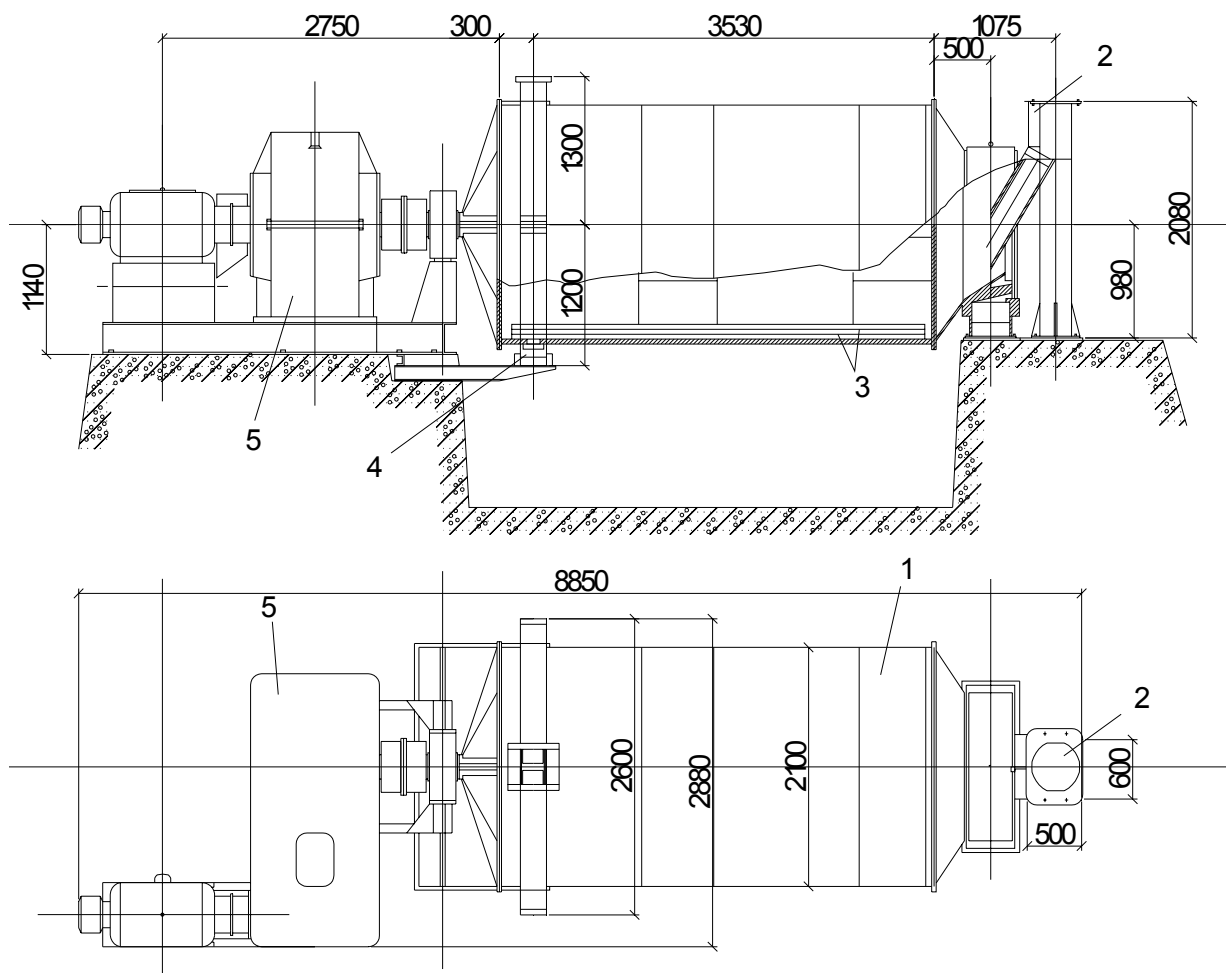
Наибольшее распространение получили следующие виды машин.

Двухвальные быстроходные смесители гораздо лучше обрабатывают гашеную смесь, чем обычные двухвальные тихоходные. Тем не менее, быстроходные смесители не в состоянии диспергировать комочки глины и другие вязкие включения силикатных смесей. Их применение ограничено.

Стержневые смесители. Представляют собой барабан, в котором размещены стержни длиной на всю камеру. Материал в смеситель поступает через течку, а выходит через периферийно расположенные разгрузочные окна. При вращении барабана стержни перекачиваются по его корпусу и перетирают при этом смесь. При этом наблюдается разрушение комочков и микроагрегатов скоплений тонкодисперсных частиц кварца, извести, суглинка и повышение однородности всей силикатной смеси. Стержневые смесители конструкции ВНИИСтрома обеспечивают обработку около 12 т/ч гашеной смеси на 1 м³ внутреннего объема барабана. Для обеспечения устойчивой работы смесителя его корпус должен располагаться с наклоном около 15° к горизонту в сторону разгрузочной части.

4.8 Формование сырца

Формование сырца – наиболее важная операция в процессе производства силикатного кирпича, поскольку большинство дефектов готового кирпича возникает в процессе формования сырца. При формовании, под воздействием усилий со стороны штампов и боковых стенок форм, происходит сближение твердых частиц смеси за счет уменьшения первоначальной ее пустотности вследствие размещения мелких зерен в промежутках между крупными, а мельчайших в порах между мелкими и крупными зернами.



1 – барабан, 2 – загрузочная воронка, 3 – стержни, 4 – выгрузочные окна, 5 - привод

Рисунок 47 – Стержевой смеситель

Основным условием, обеспечивающим плотную упаковку зерен смеси, является равномерное распределение в ней зерен различных размеров за счет тщательной подготовки однородной смеси.

Уплотненная в процессе формирования смесь – сырец, обладает определенной прочностью, природа которой может быть объяснена следующим образом.

1 В местах контактов зерен возникают межмолекулярные силы, поскольку промежутки между зернами меньше радиуса действия межмолекулярных сил. Этот радиус имеет весьма малые значения (не более радиуса молекулы), поэтому зерна должны быть прижаты друг к другу как можно плотнее, для чего требуется соответствующее усилие. Прочность образца пропорциональна числу контактов в единице объема уплотненной смеси и их суммарной контактной поверхности, которая велика у

высокодисперсных структур, например глин. Достигаемая за счет действия электростатических межмолекулярных сил прочность называется сцеплением.

2 При уплотнении смеси зерен, обладающих шероховатой поверхностью, происходит взаимное переплетение зерен и внедрение выступов одних зерен во впадины других, создающее механическую прочность прессовок.

3 Тонкие пленки воды, находящейся между частицами, обладают склеивающим действием вследствие полярности молекул воды. Но это имеет место только в том случае, когда вода образует с каким-либо компонентом коллоидный клей.

4 Уплотненная смесь представляет собой капиллярно-пористое тело пронизанное сеткой микро- и макрокапилляров, не полностью заполненных водой. По этой причине в капиллярах образуются мениски, создающие капиллярное давление. Его величина может достигать 30 МПа в грунтах с очень малыми капиллярами (в глинах). Капиллярное давление придает связность грунтам, которая зависит от содержания в них частиц коллоидных размеров (менее 0,1 мкм), поэтому чистые мытые пески не имеют вязкости, а жирные глины обладают ею в высокой степени.

Реальная формовочная силикатная смесь состоит из природного зернистого песка и тонкодисперсного вяжущего, в том числе гашеной извести, содержащей значительное количество частиц коллоидных размеров. И в песке могут находиться мельчайшие частицы кварца и глинистых минералов. Количество воды в смеси недостаточно для заполнения пор в сформованном сырце; значительная часть пор заключает в себе воздух.

Таким образом, в уплотненной реальной силикатной смеси наблюдается одновременное воздействие различных сил, придающих прочность сырцу:

- механическое зацепление песчинок;
- сцепление в местах контактов между всеми зёрнами под воздействием молекулярных сил;
- натяжение жидкости в мельчайших капиллярах, образованных при сближении коллоидных частиц смеси;
- вода, кроме того, является дисперсной средой для коллоидных частиц смеси, придающей им адгезионные свойства, а также уменьшающей трение между каркасообразующими зёрнами песка.

Влияние каждой из сил меняется в широких пределах и зависит от ряда факторов:

- гранулометрического состава песка, формы и характера поверхности его зерен;
- содержания и размера частиц извести, определяемых режимом и полнотой ее обжига и гидратации;
- содержания кремнеземистых тонкомолотых добавок, являющихся компонентами вяжущего (особенно частиц коллоидных размеров);
- содержания воды в смеси.

Для обеспечения наибольшей плотности сырца каркасообразующие (максимальные по размеру зерна) должны располагаться в пространстве по

схеме гексагональной упаковки. Пустоты между ними должны занимать следующие по размеру зерна, но таких размеров, чтобы не вызывать раздвижку крупных зерен. Образовавшиеся более мелкие полости занимают третьи по размеру зерна. И, таким образом, можно обеспечить достаточно плотную структуру.

Если принять форму зерен шаровидной, то при максимальном диаметре зерен $d_1=D$ последующие по размеру зерна имеют размеры:

$$d_2=0,228 D$$

$$d_3=0,052 D$$

$$d_4=0,012 D$$

$$d_5=0,0027 D \quad \text{и т.д.}$$

При размере $D=0,5$ мм (характерном для силикатных формовочных смесей) d_4 приблизительно равно 6 мкм, а d_5 менее 1,4 мкм.

Число шаров d_1 в сосуде объемом V равно

$$n_1 = \frac{V}{0,707 D^3} \quad (72)$$

$$\text{шары } d_2: n_2=2n_1$$

$$\text{шары } d_3: n_3=3n_2=6n_1$$

$$\text{шары } d_4: n_4=6n_3=36n_1$$

$$\text{шары } d_5: n_5=9n_4=324n_1$$

$$\text{шары } d_6: n_6=12n_5=3888n_1$$

Таким образом, в обеспечении прочности за счет контактов между частицами, основная роль принадлежит частицам коллоидных и близких к ним размеров.

Таблица 13 – Число шаров и контактов между ними в объеме V

Размеры шаров	Объем, занимаемый шарами, %	Число контактов, обеспечиваемых шарами, %
d_1	99,769	0,024
d_2	0,234	0,048
d_3	0,084	0,144
d_4	0,012	0,862
d_5	0,001	7,760
d_6	0,0002	91,162

Реальная смесь состоит из зерен не шаровидной, а неправильной геометрической формы, но общая закономерность в распределении зерен сохраняется. Так для уменьшения пустотности смеси необходимо, чтобы средний размер зерен каждой последующей фракции был меньше среднего размера предыдущей фракции в 3-4 раза. Для увеличения числа контактов в

смесь необходимо вводить тонкодисперсные частицы (особенно коллоидные диаметром менее 0,1 мкм, обуславливающие соединения частиц пленками коллоидного геля).

Влияние основных факторов на прочность сырца приведено в таблице 14.

Таблица 14 – Примерная доля влияния основных факторов на прочность сырца

Фактор	Прочность при сжатии, МПа	Доля общей прочности, %
Капиллярное давление	0,2167	81,77
Механическое зацепление	0,0388	14,65
Молекулярное сцепление	0,0095	3,58
Всего:	0,265	100,00

Примечание: смесь состоит из 90 % мелкозернистого кварцевого песка и 10 % гашеной извести; плотность сухих пресованных образцов – 1,9 г/см³; максимальная прочность сырца достигается при влажности смеси 5 %.

Таким образом, основная величина прочности сырца достигается за счет капиллярного давления, величина которого возрастает при уменьшении размера капилляра (около 0,25 МПа при радиусе около 1 мкм, и около 3 МПа при радиусе около 0,1 мкм). Зависимость величины капиллярного давления от радиуса капилляра представлена на рисунке 48.

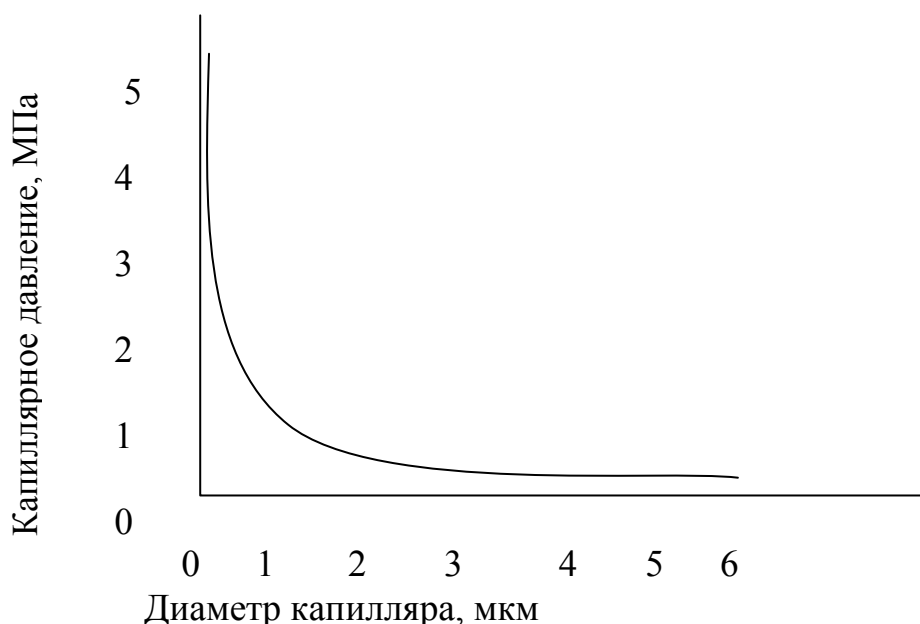


Рисунок 48 – Зависимость величины капиллярного давления от радиуса капилляра

4.8.1 Влияние технологических факторов на прочность сырца

Ранее были рассмотрены теоретические положения о формировании прочности сырца, но интерес представляет и влияние на прочность сырца таких технологических факторов, как формовочное давление, содержание в смеси тонкодисперсной муки, суммарная удельная поверхность смеси, оптимальная влажность и т.д.

Основы теории прессования рассматривались ранее при изучении технологии керамического кирпича, получаемого способом полусухого прессования, в том числе неоднородность свойств при одностороннем прессовании.

Влияние давления прессования

При прессовании смеси (90 % песка и 10 % гашеной извести) прочность сырца при растяжении увеличивается с 0,027 до 0,037 МПа при росте давления прессования с 17,5 до 36 МПа; это соответствует повышению прочности при сжатии от 0,27 до 0,37 МПа. Таким образом, при росте давления прессования в 2 раза прочность сырца возрастает на 37 %, т.е. растет гораздо медленнее, чем давление прессования. Объясняется это тем, что повышение давления прессования приводит к увеличению числа механических контактов зацепления зерен и возрастанию действия молекулярных сил. Но их доля в формировании прочности сырца достигает лишь 20-30 %, поэтому даже значительный рост давления прессования не вызывает существенного роста прочности.

Влияние уплотнения

Отмечается линейная зависимость прочности сырца от его плотности

$$R_{сж} = 0,0026\rho_{сух} - 4,37, \text{ МПа} \quad (73)$$

где $\rho_{сух}$ – средняя плотность сырца в сухом состоянии, кг/м^3

Степень уплотнения зависит от зернового состава песка, определяемого его модулем крупности. При модуле крупности $M_k=1$ коэффициент уплотнения $K_{упл}=1,8$, а при $M_k=4$ $K_{упл}=2,6$ при влажности $W=5$ %. При этом плотность сырца составляет 1650 и 2000 кг/м^3 соответственно. Большой коэффициент уплотнения наблюдается у влажных песков, нежели у сухих ($K_{упл} \approx 1,1$), т.к. при засыпке в форму влажный песок образует более рыхлые структуры с большим содержанием пустот. Это впоследствии приводит к запрессовке воздуха и возрастает опасность «перепрессовки» сырца.

Влияние содержания дисперсных компонентов смеси и их свойств

Введение в состав формовочной силикатной смеси тонкодисперсной муки дает возможность заполнить, полученной из нее и воды технологической связкой, поры между каркасообразующими зёрнами немолотого песка (увеличение плотности сырца), создать большее число контактов между всеми зёрнами смеси (увеличение сцепления и зацепления) и образовать микрокапилляры, позволяющие использовать поверхностное натяжение воды в

них для придания сырцу прочности. Роль дисперсной муки выполняет тонкомолотое вяжущее. При совместном размоле компонентов вяжущего прочность сырца выше, чем при раздельном, т.к. в первом случае выше тонкость помола и удельная поверхность известковых частиц.

Влияние введения укрупняющих добавок

Укрупняющие добавки вводят при использовании мелкодисперсных песков однородной гранулометрии. Размер укрупняющих добавок составляет 0,6-5 мм. При этом снижается суммарная удельная поверхность зерен заполнителя и сокращается расход вяжущего на покрытие им поверхности зерен. Укрупняющие добавки представляют собой высевки, образующиеся при дроблении и классификации горных пород.

Влияние формовочной влажности смеси

Оптимальная влажность сырца (90 % песка различной гранулометрии и 10 % гидратной извести), сформованного при давлении 31 МПа, составляет 5-6 %, т.е. не меняется при изменении зернового состава песка.

В общем случае формовочная влажность смеси пропорциональна удельной поверхности смеси и определяется не составом песчаной фракции, а содержанием вяжущего, обладающего значительно большей удельной поверхностью.

Влияние длительности прессования

Для силикатных смесей, содержащих 15 % вяжущего, увеличение длительности прессования с 2,6 до 8,7 с не влияет на прочность сырца, имеющего влажность около 6 %, т.к. такие смеси обладают повышенной пластичностью. Для более сухих смесей (влажность около 4,5 %) с пониженной пластичностью увеличение длительности процесса сжатия с 1,6 до 44 с особенно сказывается при малых давлениях прессования, т.к. при этом увеличивается относительное перемещение частиц.

Влияние запрессовки воздуха и формы гнезд пресса

Основной причиной расслоения сырца является давление запрессованного в нем воздуха, повышающееся с ростом влажности смеси и достигающее 1,5-1,8 МПа при влажности 7 %. После снятия внешней нагрузки сформованный сырец под воздействием запрессованного воздуха стремится расширяться, чему препятствуют стенки формы. При выпрессовке сырца, вышедшая из формы его часть имеет возможность расширяться, а оставшаяся в форме такой возможности не имеет. Поэтому при задержках с выталкиванием или большим давлении запрессованного воздуха возникают опоясывающие сырец горизонтальные трещины расслаивания. Это наблюдается при неблагоприятном зерновом составе смеси и повышенном содержании в ней тонкодисперсных частиц.

Для ликвидации расслаивания сырца, возникающего при его выталкивании из формы, необходимо быстрое снятие бокового давления от сырца на стенки формы. Это достигается уширением формы в направлении выталкивания сырца на 0,2-0,5 %. При формовании в уширенной форме полностью отсутствуют трещины расслоения; прочность сырца увеличивается

на 8-17 %, а запаренных образцов на 6-12 %, в сравнении с образцами, сформованными в цилиндрической форме.

4.8.2 Влияние характера формования на прочность кирпича

Прочность кирпича определяется числом контактов между зернами в единице объема и качеством цементирующего вещества, образовавшегося в процессе автоклавной обработки.

Влияние давления прессования

Повышение давления прессования с 10 до 40 МПа повышает прочность запаренных образцов в 3,2 раза, в то время как прочность сырца в том же диапазоне прессования возрастает в 1,8 раза. Это объясняется разной природой формирования прочности: у сырца решающую роль в создании прочности обуславливает натяжение воды в капиллярах, а у кирпича – количество контактов. При увеличении давления прессования возрастает и количество связанной извести в смеси.

Влияние плотности кирпича

Наблюдается линейная зависимость прочности кирпича от его плотности

$$R_{сж} = 0,0365(\rho_0 - 1650) + 0,015(S - 200) + 11 \text{ МПа}, \quad (74)$$

где ρ_0 – средняя плотность сухого кирпича, кг/м³;

S – рабочая поверхность кремнеземистой части смеси, см²/г.

Для повышения плотности кирпича необходимо либо увеличение давления прессования (для мелкозернистых песков), либо корректировка зернового состава (ввод укрупняющих либо дисперсных добавок). Для прессов с низким давлением более приемлем второй вариант.

4.8.3 Прессы для формования силикатного кирпича

Прочность сырца и кирпича в определенной степени зависит от конструкции пресса, которая определяет:

- максимальное давление прессования и возможность его автоматического регулирования;
- характер и длительность процесса формирования;
- возможность релаксации напряжений в сырце и выпуска защемленного воздуха из него перед выталкиванием из форм.

Прессы отличаются: способами приложения нагрузки, загрузкой смеси в формовочные гнезда и выдачей сырца.

По принципу подачи смеси и выдачи сырца прессы делят на три группы:

- 1) с револьверным столом, периодически поворачивающимся вместе с формовочными гнездами и штампами на определенный угол (штампы расположены снизу стола), представлены на рисунке 49;

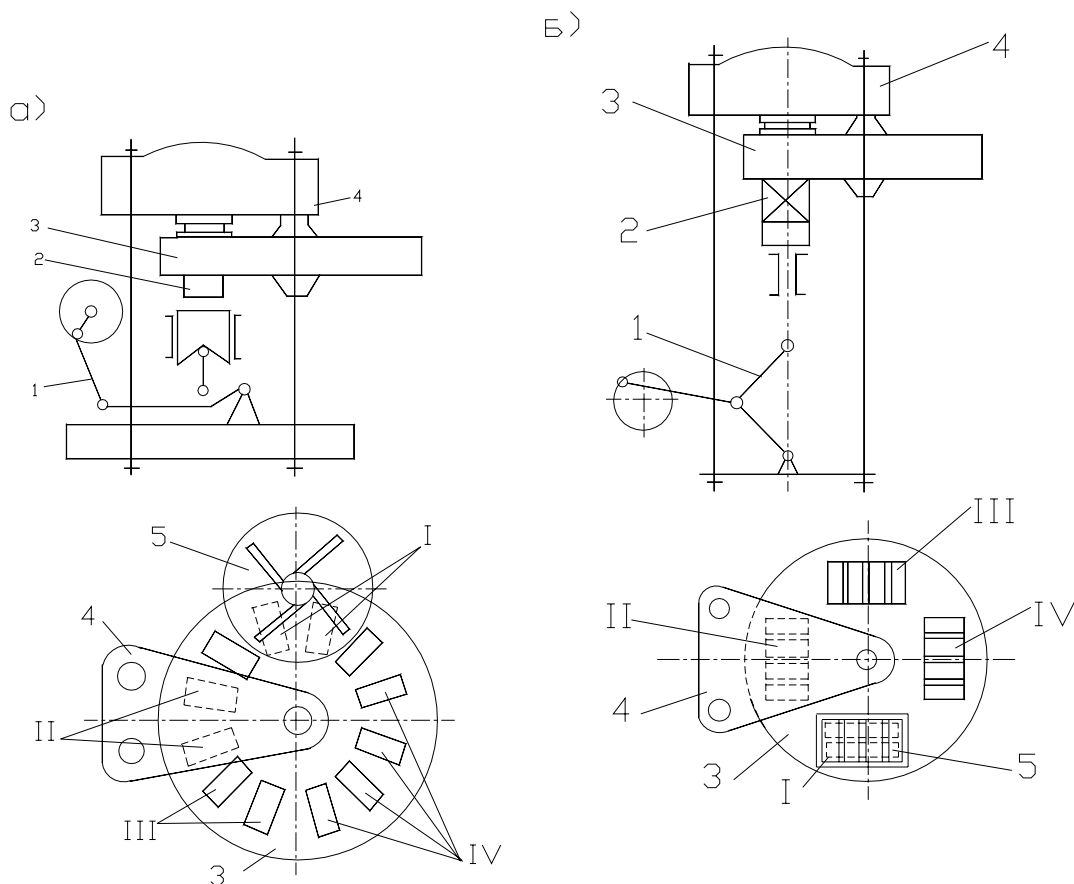
2) с периодически челочно движущимся столом, в котором расположены формовочные гнезда и штампы, рисунок 50;

3) с неподвижным столом, рисунок 51.

В прессах с челочно движущимся или неподвижным столом все операции формования - засыпка смеси в гнезда, ее прессование, выталкивание сырца из гнезд и съем его - протекают последовательно; в револьверных прессах эти операции осуществляются одновременно, но в разных местах поворотного стола.

В первом случае длительность отдельных операций может быть различной, в то время как у прессов с револьверным столом все операции продолжаются одинаковое время.

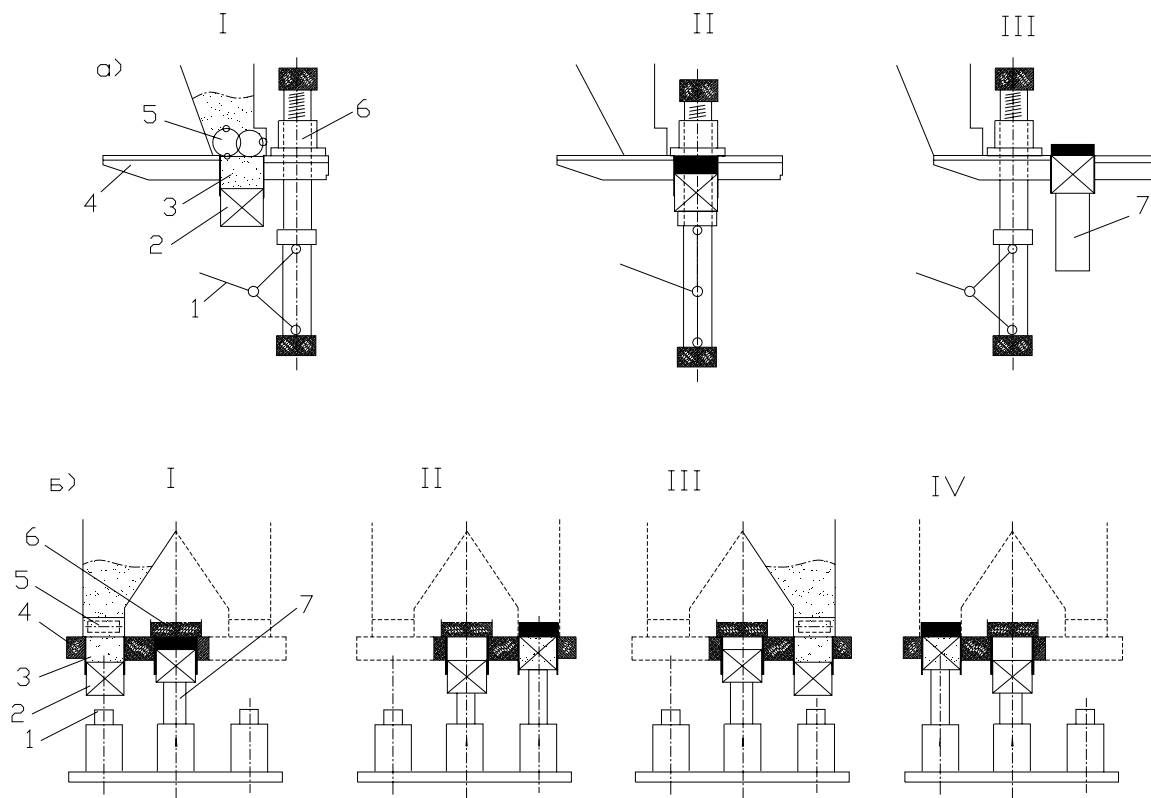
По принципу приложения усилия прессы бывают одно- и двухстороннего формования; по способу создания формовочного давления – механические, гидравлические и смешанные.



1 - прессующий механизм; 2 - штампы; 3 - стол; 4 - траверса; 5 - дополнительная мешалка

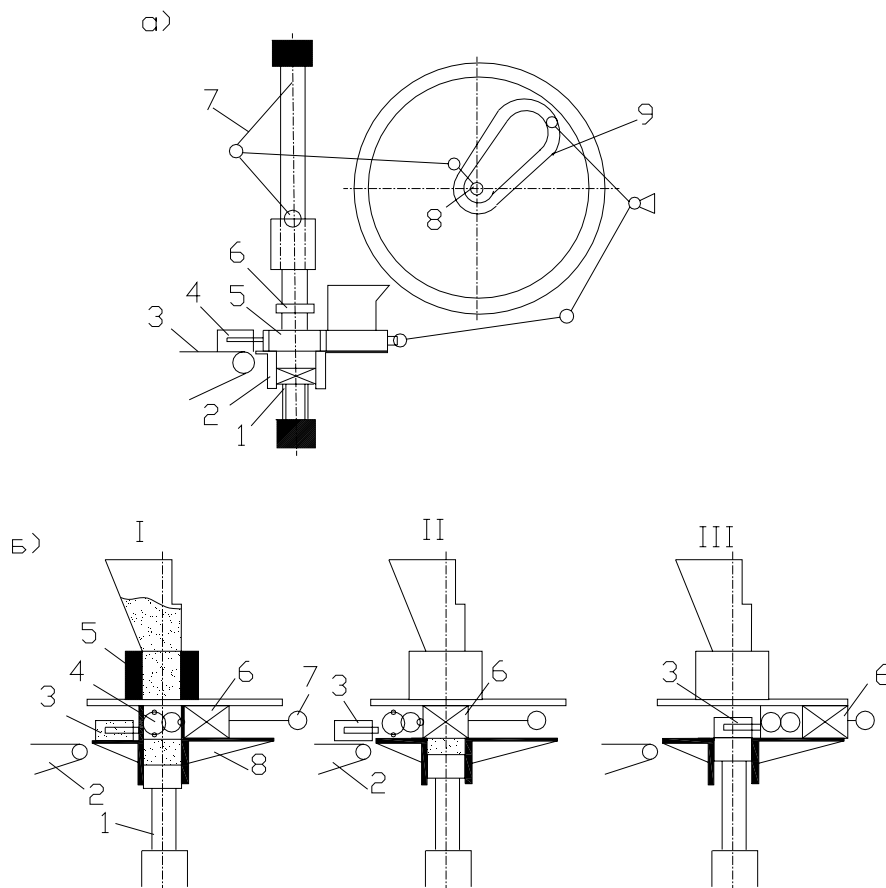
Рисунок 49 – Схемы револьверных прессов

а - с рычагом второго рода СМС-152; б - с коленно-рычажным механизмом фирмы "Дорстенер": I - заполнение пресс-форм смесью; II - прессование; III - выпрессовка; IV - съем сырца;



а - механический пресс фирмы «Атлас» Р-550: I - заполнение формы смесью; II - прессование; III - выпрессовка сырца; 1 - прессующий механизм; 2 - штампы; 3 - пресс-форма; 4 - стол; 5 - наполнительная рамочная мешалка; 6 - контрштампы; 7 - выталкивающий механизм; б - гидравлический пресс «Крупп-Интертехник»; I - заполнение смесью левой пресс-формы, формование сырца в правой; II - начало формования в левой пресс-форме, выпрессовка и съем сырца из правой; III - заполнение смесью правой пресс-формы, окончание формования в левой; IV - выпрессовка и съем сырца с левой пресс-формы, начало формования в правой; 1 - выталкивающий плунжер; 2 - штамп; 3 - пресс-форма; 4 - стол; 5 - загрузочный ящик смеси с рамочной мешалкой; 6 - контрштамп; 7 - прессующий плунжер

Рисунок 50 – Схемы прессов с челночным движением стола



а - механический пресс СМ-1085А: 1 - нижний штамп; 2 - пресс-форма; 3 - накопительный конвейер; 4 - пневмозахват; 5 - наполнительный ящик; 6 - верхний штамп; 7 - коленно-рычажный механизм; 8 - кривошип; 9 - кулак;

б - гидравлический пресс S-S 500: I-заполнение пресс-формы смесью; II-прессование и укладка сырца; III-выпрессовка сырца; 1 - плунжер; 2 - накопительный конвейер; 3 - съемник сырца; 4 - рамочная мешалка; 5 - траверса; 6 - контрштамп; 7 - гидроцилиндр; 8 - стол

Рисунок 51– Схемы прессов с неподвижным столом

4.8.4 Формование пустотелых кирпичей и камней

Пустотелые кирпичи и камни разделяют на две группы в зависимости от того, должны ли они улучшить теплотехнические свойства стены или же уменьшить массу изделий. Для обеспечения хороших теплотехнических свойств желательно размещать пустоты в кирпиче в шахматном порядке, для удлинения пути теплового потока по перемычкам между отверстиями, представляющими собой мостики холода. Диаметр отверстия не должен превышать 35 мм, что исключает возникновение в них вертикальных конвективных токов воздуха, усиливающих перенос тепла с нагретых стенок отверстий на холодные.

Утолщенный кирпич для его облегчения должен обязательно изготавливаться пустотелым с массой не более 4,3 кг. Размеры сквозных пустот при этом не ограничиваются, а ширина сквозных отверстий не должна превышать 16 мм во избежание попадания в них кладочного раствора.

Способы пустотообразования можно разделить на две группы:

1) пустоты образуют путем внедрения пуансонов сверху в форму, уже заполненную смесью;

2) смесь засыпают в форму, в которой уже снизу введены пуансоны.

В первом случае пустотообразователи установлены стационарно (обычно в верхней траверсе пресса). Пуансоны проходят сквозь отверстия в контрпрессующей плите. Во втором случае пустотообразователи размещают в каждом штампе пресса.

4.9 Автоклавная обработка сырца

Автоклавная обработка позволяет превратить механическую смесь разнородных компонентов в прочное камневидное тело. Это объясняется взаимодействием высокодисперсных CaO и SiO₂, сопровождающимся образованием гидросиликатов кальция, связывающих зерна песка в монолит.

Состав и свойства гидросиликатов кальция, образующихся при автоклавном твердении приведены в таблице 15.

Таблица 15 - Состав и свойства гидросиликатов кальция

Условные обозначения		Состав	Плотность, г/см ³	Форма кристаллов
По Боггу	По Тейлору			
CSH (B)	C-S-H (I)	C _{1-1,5} SH _n	2,4	Волокна
C ₂ SH ₂	C-S-H (II)	C _{>1,5} SH _n	2,46	Волокна
Тоберморит	Тоберморит	C ₅ S ₆ H ₅₋₂	2,44	Пластинки
C ₅ S ₅ H	Ксонотлит	C ₅ S ₅ H	2,7	Волокна
C ₂ SH (A)	Гидрат α-C ₂ S	C ₂ SH _{0,9-1,5}	2,8	Прямоугольные пластинки и призмы

Состав гидросиликатов кальция зависит от соотношения между активной CaO и кварцевой мукой, от дисперсности, содержания вяжущего и воды в смеси, температуры и длительности автоклавной обработки.

4.9.1 Физико-химические процессы, протекающие при твердении силикатного кирпича

Ранее отмечалось, что оптимальное соотношение в вяжущем между известью и кремнеземом составляет И:К= 1:1, что в пересчете на CaO_{акт.} и SiO₂ составляет CaO: SiO₂ ≈ 0,65.

Для получения кирпича марки по прочности 200 достаточно иметь 18 % вяжущего в силикатной смеси при удельной поверхности молотого кремнезема $S_{уд}=2000 \text{ см}^2/\text{г}$. Силикатный кирпич запаривают под давлением равным 0,8, 1,2 и 1,6 МПа, что соответствует температурам насыщенного пара 174,5 °С, 190,7 °С и 203,3 °С.

Процесс автоклавной обработки условно можно разбить на несколько периодов.

Период загрузки сырца в автоклав.

При наличии 18 % вяжущего состава И:К= 1:1 сырец содержит 89 % кварца (в том числе 9 % молотого) или кремнеземистых минералов и 11% валовой гидратированной извести. Плотность кварца $2,65\text{г}/\text{см}^3$, а валовой гидратной извести, содержащей 60 % $\text{CaO}_{\text{акт}}$, - $2,4 \text{ г}/\text{см}^3$. Средняя плотность сухого сырца - $1,85\text{г}/\text{см}^3$, объем одинарного кирпича - $1,95 \text{ дм}^3$, а его масса в сухом состоянии равна $m=V*\rho= 1,95*1,85=3,6 \text{ кг}$. Пористость сырца составляет 31 %, влажность – 6 %; при этом вода занимает около 36 % объема всех пор. Причем половина воды находится в виде пленок на поверхности зерен кремнезема и извести, а другая половина размещается в микрокапиллярах сырца; следовательно, крупные капиллярные поры в сырце не заполнены водой, а только смочены ею с поверхности.

Температура сырца, загружаемого в автоклав, около 40 °С, температура стенок автоклава на 40-50 °С выше, чем у сырца, в связи с чем за счет лучеиспускания сырец на вагонетках подсыхает, особенно если обе крышки автоклава открыты и воздух просасывается через автоклав.

Период впуска пара в автоклав и подъем давления до постоянного уровня.

При впуске насыщенного пара он омывает сырец и смешивается с находящимся там воздухом. Для заполнения автоклава паром (пространства, не заполненного вагонетками и сырцом) его требуется только 17,5 кг. Такое количество пара может быть подано по паропроводу за 15 с. Но в начальный период пар интенсивно конденсируется и смешивается с находящимся в автоклаве воздухом. Поэтому для заполнения автоклава и вытеснения из него воздуха требуется больше пара и времени (5-6 мин). Вначале происходит только прогрев сырца; давление в автоклаве находится на уровне атмосферного до тех пор, пока температура в нем не достигнет 100 °С. Этот период длится 30-45 минут.

Соприкасаясь с холодными поверхностями сырца, пар отдает им свою скрытую теплоту и конденсируется в воду, которая впитывается сырцом. При этом вода вытесняет из пор сырца некоторое количество воздуха, а часть его сжимает. Сырец также нагревается физическим теплом, содержащимся в конденсате. Этот процесс длится до тех пор, пока температура сырца и пара не сравняются.

В период пропаривания сырца без давления на нем конденсируется около 0,11 кг пара, а влажность его повышается с 6 до 9 %, т.е. большая часть пор не будет заполнена водой. При быстром нагреве сырца его поры могут заполниться полностью еще до того, как возникнут новообразования; устья

микрокапилляров также заполнятся водой, мениски и силы поверхностного натяжения в них воды исчезнут, следствием чего явится резкое снижение прочности и обвалы сырца, особенно при его высокой формовочной влажности.

При повышении температуры в автоклаве, соприкасающаяся с паром поверхность сырца имеет температуру паровой среды, а более глубокие слои меньшую. Влажность наружных слоев сырца также выше, чем внутренних. Таким образом, по толщине сырца наблюдается температурно-влажностный градиент и процесс твердения его протекает неодинаково.

С повышением температуры, находящейся в порах сырца воды до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, концентрация растворенной в ней CaO снижается с $1,2\text{ г/л}$ при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0,5\text{ г/л}$ при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, вследствие чего избыток извести выделяется в коллоидном виде и адсорбируется на аморфизированной при помоле поверхности зерен кремнезема. Коллоидные адсорбционные комплексы, находящиеся в зонах контакта зерен песка, повышают прочность сырца. При дальнейшем повышении температуры увеличивается растворимость SiO_2 (при продолжающемся снижении растворимости CaO); начинается реакция между SiO_2 и CaO в жидкой фазе с образованием гидросиликатов кальция. Этот процесс протекает позонно и постепенно распространяется в глубь изделия по мере прогрева сырца. Поскольку в этот период концентрация CaO в растворе выше чем SiO_2 , то в начале выделяется гидрат $\alpha\text{-C}_2\text{S}$ ($\alpha\text{-C}_2\text{SH}$).

Период выдержки при постоянном давлении.

Прогрев сырца происходит за счет теплопроводности вследствие передачи тепла от омывающей его поверхность конденсирующегося насыщенного пара. При достижении заданного давления боковые грани сырца, соприкасающиеся с паром, имеют его температуру; центральная зона имеет более низкую температуру. Поверхностная зона полностью увлажнена, а центральная частично. В первые 1-1,5 часа этого периода наблюдается передача тепла и поступления влаги от поверхности в центр сырца, вытеснение из пор воздуха. После выравнивания температур центра сырца и пара передача сырцу тепла конденсата прекратится; пар расходуется только на возмещение теплотерь через стенки и крышку автоклава. Наступает стадия изотермической выдержки сырца (на поверхности она началась еще раньше при достижении постоянного давления пара).

Концентрация CaO в жидкой фазе - наименьшая, а SiO_2 - максимальная, поэтому наблюдается образование низкоосновных гидросиликатов кальция и одновременно перекристаллизация коллоидных адсорбционных комплексов. При израсходовании всей извести начинается растворение ранее образовавшихся высокоосновных гидросиликатов кальция и переход их в низкоосновные, придающие повышенную прочность кирпичу.

К концу изотермической выдержки новообразования состоят из смеси высоко- и низкоосновных гидросиликатов кальция, лучше закристаллизованных в наружных и хуже во внутренних слоях кирпича. Внутри наблюдается большее содержание гелевидных фаз. Неоднородность

прочности наблюдается по этой причине по сечению кирпича, да и по всей садке кирпича.

Неоднородность кирпича по составу, а, следовательно, и по свойствам отмечается и вследствие неоднородности силикатной смеси, особенно при некачественном ее приготовлении.

Период снижения давления и выпуска пара.

Как только давление в автоклаве начнет снижаться, так сразу же, находящаяся в порах кирпича, вода становится перегретой по отношению к температуре кипения воды, соответствующей пониженному давлению насыщенного пара, и вода вскипает. При резком снижении давления процесс парообразования протекает настолько интенсивно, что кирпич может взорваться.

Выходящий из пор кирпича пар механически увлекает часть находящейся в порах кирпича воды, что способствует подсушке кирпича. Поскольку в силикатном кирпиче преобладает открытая пористость, его охлаждение происходит одновременно по всему сечению за счет равномерного отъема тепла испаряющейся влагой.

При снижении температуры кирпича и уменьшении количества воды, находящейся в его порах, повышается концентрация в ней CaO и понижается концентрация SiO_2 . Влажность гелевидных фаз снижается, что повышает прочность кирпича. На поверхности кирпича осаждаются гидросиликаты кальция, CaO и SiO_2 за счет испарения выходящей из пор жидкости.

При снижении давления в автоклаве до атмосферного из кирпича удаляется вся вода, внесенная в сырец конденсатом, и часть формовочной влаги. Температура кирпича понижается до теоретической – около $100\text{ }^\circ\text{C}$. При открывании крышек, автоклава и выкатке тележек наружу происходит дальнейшее интенсивное испарение влаги и снижение температуры кирпича.

4.9.2 Оптимальные температуры и режимы запаривания силикатного кирпича

Оптимальными режимами считаются такие, которые при наименьших затратах вяжущего (главным образом извести) и коротких циклах запаривания обеспечивают получение кирпича необходимой прочности. Прочность кирпича непрерывно растет с увеличением длительности запаривания до определенного максимума, определяемого температурой процесса и свойствами известково-песчаной смеси. При дальнейшем запаривании прочность и плотность кирпича несколько раз понижаются и повышаются, что объясняется быстрым переходом гидросиликатов кальция высокой основности в гидросиликаты кальция менее основные, обладающие иной структурой и плотностью.

В силикатных смесях, содержащих 7 % $\text{CaO}_{\text{акт}}$ и 10 % молотого кварца, известь полностью связывается при температуре $175\text{ }^\circ\text{C}$ (давление пара около 0,8 МПа) за 7-10 часов, при температуре $191\text{ }^\circ\text{C}$ (давление пара около 1,2 МПа) - за 4-5 часов, а при температуре $203\text{ }^\circ\text{C}$ (давление пара около 1,6 МПа) - за 3,5-4 часа

Давление 1,6 МПа целесообразно при запаривании кирпича, изготовленного из смеси немолотого песка и 8 % $\text{CaO}_{\text{акт}}$ (такая технология используется за рубежом). Повышение давления сверх 1,2 МПа нерационально для смеси на основе молотого песка, т.к. при этом происходит снижение прочности.

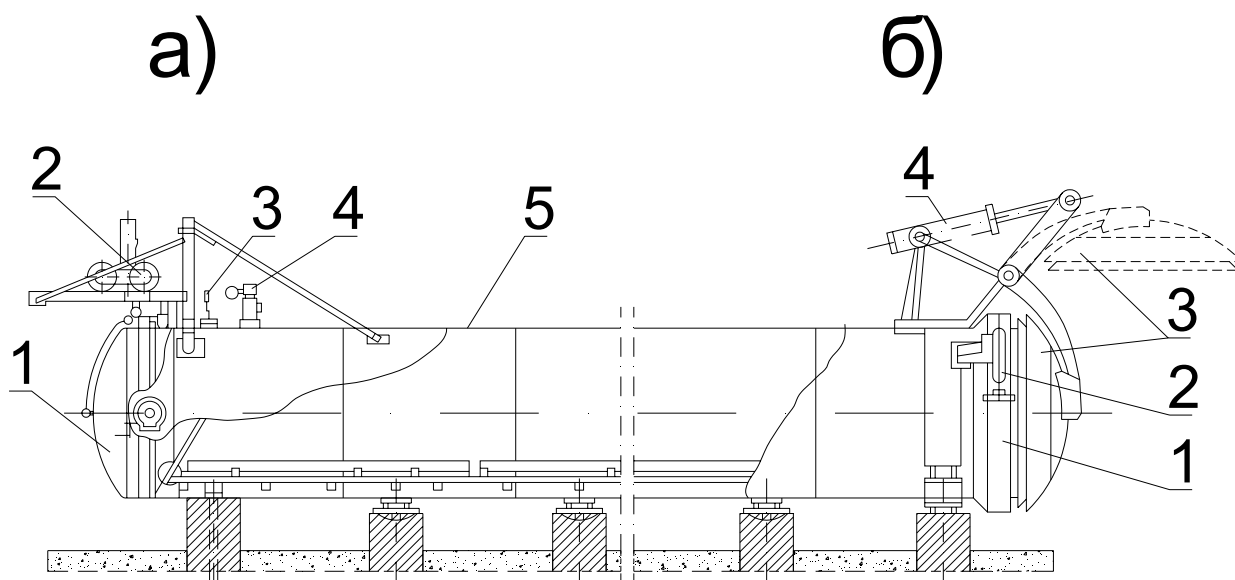
Оптимальное давление пара при запаривании кирпича, изготовленного с использованием молотого кварца - 1,2 МПа (191 °С). Изотермическая выдержка кирпича при этом давлении составляет 4-5 часов.

4.9.3 Оборудование для запаривания

Выпускаемые в стране автоклавы рассчитаны на рабочее давление 1,2 МПа. Разработаны и испытаны автоклавы, рассчитанные на 1,6 МПа. Автоклавы выпускают диаметром 2 м, рабочие характеристики их приведены в таблице 16.

Длина автоклавов 17, 19 и 21 м при рабочем давлении 0,8 и 1,2 МПа и 40 м при давлении 1,6 МПа.

При использовании длинных автоклавов сырец накапливают в специальных камерах и затем загружают одновременно весь состав вагонеток, в остальных случаях сырец загружают по мере выработки его прессами.



а – с поворотными крышками и редуктором: 1 – крышка; 2 – укосина; 3 – манометр; 4 – предохранительный клапан; 5 – корпус; б – с гидравлическим приводом подъема крышек и поворота байонетного кольца: 1 – байонетное кольцо; 2 – гидроцилиндры поворота кольца; 3 – крышка; 4 – гидроцилиндр подъема крышки

Рисунок 52 - Проходной автоклав диаметром 2 и длиной 19 м

Таблица 16 - Длительность цикла работы автоклавов, ч

Операция	Вид изделий и давление Р, МПа, в автоклаве			
	Полнотельный и облегченный кирпич		Многопустотные камни и полнотельный кирпич* Р=1,6	Многопустотные камни* Р=1,2
	Р=0,8	Р=1,2		
Загрузка сырца	1	1	0,25	1
Закрывание крышек	0,2	0,2	0,15	0,15
Подъем давления пара: без перепуска	1,1	1,15	1,5	1,15
с перепуском	1,3	1,4	1,6	1,4
Выдержка под полным давлением	6	5	4	4,5
Выпуск пара: без перепуска	0,8	0,9	1,1	1
с перепуском	1,1	1,1	1,3	1,1
Открывание крышек	0,2	0,2	0,15	0,15
Выгрузка состава с кирпичом	0,25	0,25	0,25	0,25
Чистка автоклава	0,15	0,15	0,3	0,15
Общая длительность: без перепуска	9,7	8,85	7,7	8,35
с перепуском	10,2	9,3	8	8,7

* - Автоклавы с гидравлическими затворами крышек.

Приведенные в таблице 16 данные, получены экспериментально для кирпича, характеризуемого массой сплошного сухого сырца 3,6 кг; с 10 % пустот - 3,24 кг; с 24 % пустот - 2,73 кг; с 30 % пустот - 2,52 кг.

Масса сухого сырца в автоклаве диаметром 2 м и длиной 19 м - 55,5т.

Технические характеристики автоклавов диаметром 2 м для запаривания силикатного кирпича приведены в таблице 17.

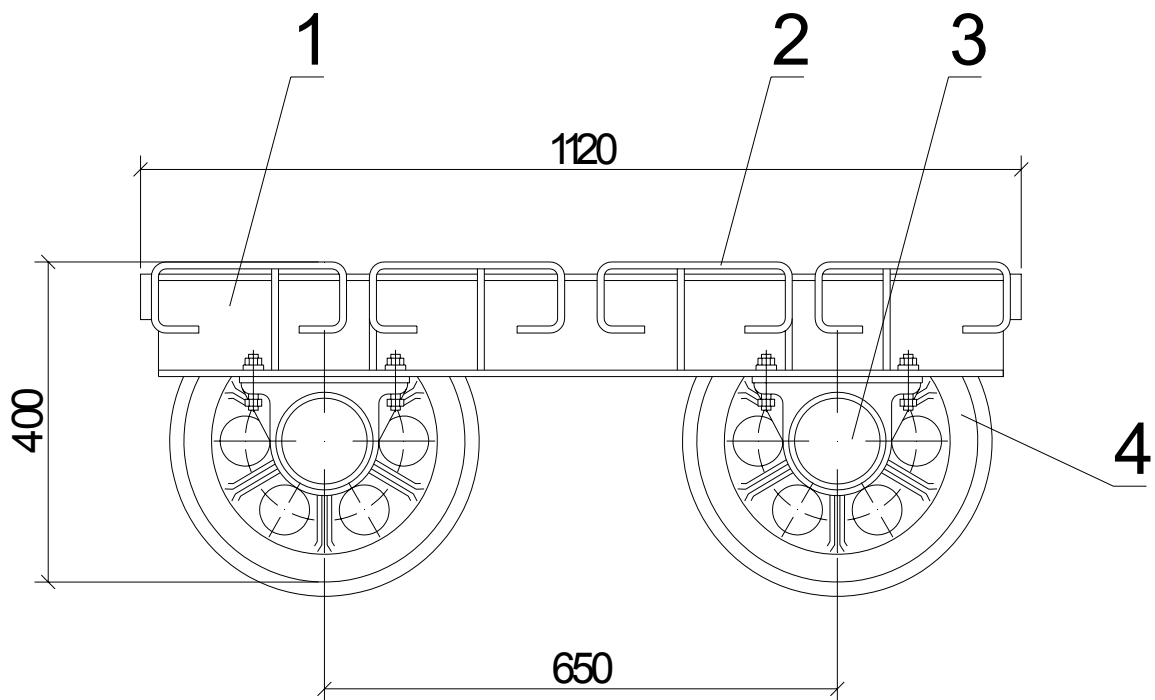
Запарочные вагонетки бывают со сплошными и щелевыми покрытиями. При сплошном покрытии используют стальной лист толщиной 5 мм, который при сварке с рамой вагонетки деформируется и приобретает волнистую поверхность, на которой сырец, особенно в нижних рядах, растрескивается.

Таблица 17 - Технические характеристики автоклавов

Показатели	Длина автоклавов, м					
	17	17	19	19	21	40
Тип автоклава	проходной	тупиковый	проходной	тупиковый	проходной	
Рабочее давление пара, МПа	1,2	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6
Рабочая колея, мм	750	750	750	750	750	750
Привод механизма открывания крышки	ручной	ручной	ручной	ручной	гидравлический	
Габариты, мм:						
длина	18670	18160	20730	20225	23200	40400
ширина	2690	2690	2690	2690	2560	-
высота	3830	3830	3830	3830	3720	-
Масса, кг	23070	21600	25707	23440	32150	47400

Щелевые платформы составлены из четырех штампованных тонкостенных профилей коробчатого сечения. Через щели удаляется смесь, оставшаяся на сырцах после формования, обычно просыпающаяся в зазор между сырцами на платформу вагонетки и не позволяющая уплотнить первый ряд при подъеме садки грейферными захватами.

Вагонетки загружают в автоклав различными толкателями: реечными, винтовыми, тросовыми. Поверхность вагонетки периодически следует очищать от налипающих частиц силикатной смеси. Для этого можно использовать установку, разработанную институтом НИПСиликатобетон.



1 – рама; 2 – площадки из гнutoго листа; 3 – подшипник; 4 - колёса

Рисунок 53 - Автоклавная вагонетка с щелевой платформой

4.10 Технология цветного силикатного кирпича

Использование лицевого кирпича позволяет исключить операцию оштукатуривания фасадных поверхностей, поэтому к нему предъявляют более жесткие требования, чем к рядовому: более точные размеры, выше прочность, плотность и морозостойкость.

Требования к нему регламентированы ГОСТ 379-95. Марка полнотелого лицевого кирпича должна быть не менее 125, камней не менее 100; морозостойкость в зависимости от климатических зон и назначения частей здания F25-F50.

Цветной кирпич должен обладать высокой атмосферостойкостью: не выцветать под воздействием инсоляции, попеременного увлажнения и высыхания, замораживания и оттаивания. Повышенные требования предъявляются также к содержанию включений, отбитости углов и рёбер, внешнему виду и цвету лицевого силикатного кирпича.

Способы изготовления цветного силикатного кирпича:

- путём объёмного окрашивания силикатной смеси перед формованием сырца;
- нанесением цветной пасты или суспензии на свежесформованный сырец;
- окрашиванием запаренного кирпича растворами солей;
- нанесением легкоплавких цветных глазурей на запаренный кирпич;
- нанесением цветных лаков, покрытий, эмалей на запаренный кирпич;
- нанесением цветной цементно-песчаной композиции на запаренный кирпич.

4.10.1 Пигменты и красители

Пигменты и красители могут быть минеральными и органическими, природными и искусственными.

Природные пигменты: железные руды, охра, умбра, мумия, глауконит, окрашенные горные породы (земляные краски) и т.п. Искусственные пигменты: жёлтый, чёрный железистоокисные, оксид трехвалентного хрома Cr_2O_3 , сажа, фталоцианиновые и т.п. Их относят к пигментам, т.к. они нерастворимы в воде. Красители растворимы в воде; к ним относят: сульфаты меди, хлориды железа, марганца и другие.

Пигменты, добавляемые в формовочную массу, должны быть устойчивы к воздействию высоких температур и влажности, минимально реагировать с компонентами смеси при автоклавной обработке, быть щелочеустойчивыми.

Соли металлов, используемые для окраски запаренного кирпича, должны реагировать с оксидом кальция CaO , образуя окрашенные нерастворимые соединения.

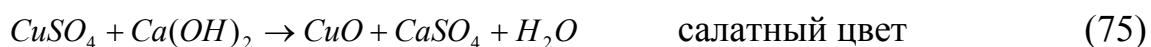
При окраске запаренного кирпича органосиликатными покрытиями или эмалями они должны обладать свето- и атмосферостойкостью. При окраске кирпича сплавляемыми с черепком керамическими глазуриями, пигменты не должны разрушаться при нагреве до температуры 1000-1200 °С.

Наиболее распространено объёмное окрашивание силикатной смеси. При этом мельчайшие зёрна пигментов должны равномерно распределяться по поверхности зёрен извести и песка. При автоклавной обработке известь вступает в реакцию с кремнеземом, образуя гидросиликаты кальция, которые обволакивают зёрна пигмента и заглушают его цвет. При недостаточной химической инертности пигментов они реагируют с компонентами силикатной смеси, образуя соединения отличные по цвету от исходного пигмента либо бесцветные.

Инертность пигментов является величиной обратной их активности по отношению к извести, оцениваемой количеством поглощенного оксида кальция CaO , в мг, одним граммом пигмента. По этому признаку пигменты разделяются на четыре группы:

- 1) высокоактивные, поглощающие более 55 мг CaO (ультрамарин, охра);
- 2) активные - 50-55 мг (глины, умбра, сиены);
- 3) среднеактивные - 40-50 мг (марганец голубой, крон свинцовый жёлтый, мумии);
- 4) малоактивные - менее 40 мг (редоксайд, оксид хрома).

При окрашивании силикатных изделий в растворах серноокислых солей переходных металлов протекают реакции



4.10.2 Изменение окраски цветного кирпича

При объёмном окрашивании кирпича в процессе его эксплуатации наблюдается ослабление окраски, а иногда и полное её исчезновение, несмотря на то, что были использованы свето- и щёлочестойкие пигменты.

Причинами потускнения цвета кирпича является наличие в нём гидроксида кальция, воздействие кладочного раствора на кирпич, контакт с другими материалами, воздействие агрессивных газов воздуха и воды, загрязнение поверхности и пор кирпича пылью. Рассмотрим более подробно эти причины.

1. При неполном связывании СаО, особенно при использовании немолотого песка в силикатной смеси, часть её остаётся в свободном состоянии (от 1,5 до 3,5 %), т.е. 20-50 % от всей введенной в смесь СаО_{акт}.

Попадающая на поверхность стены влага растворяет часть СаО, содержащегося в кирпиче. При последующем воздействии на стену солнца и ветра влага с растворенной в ней известью поступает за счёт капиллярного подсоса на поверхность и остаётся на поверхности в виде тонких плёнок. Процесс многократно повторяется и поверхность покрывается плотной плёнкой Са(ОН)₂, карбонизирующейся затем СО₂. Эта пленка заглушает полностью или частично первоначальный цвет кирпича. Под плёнкой высолов цвет кирпича остаётся неизменным.

Для исключения выноса Са(ОН)₂ на поверхность кирпича при объёмном его окрашивании известь необходимо связать с кремнезёмом в гидросиликаты кальция, для чего тонко размалывают часть песка с известью в вяжущее требуемого состава и тщательно обрабатывают гашённую массу.

При окрашивании кирпича растворами солей в поверхностных цветных пленках имеется избыток красящих катионов, которые гарантируют связывание поступающих из внутренних частей кирпича свободного Са(ОН)₂.

Цветные коллоидные плёнки уплотняют наружные поры кирпича, что препятствует впитыванию дождевой влаги, но в то же время снижает паропроницаемость стены, т.е. увеличивает возможность конденсации паров воды, поступающих изнутри здания.

Поскольку в жилых зданиях внутри помещений обычно поддерживается нормальный влажностный режим (относительная влажность не превышает 60 %), то основным источником проникновения влаги внутрь стен является дождь, поэтому главным препятствием впитыванию дождевой влаги служит уплотнённый красящими солями слой кирпича, глубина которого должна быть не менее 5 мм.

2. Источником поступления СаО также является кладочный известково-цементный или цементный раствор. Известь может попадать вместе с влагой из швов на поверхность кирпича и оставаться на ней в виде потёков. Чтобы исключить вынос извести из раствора на поверхность кирпича швы лицевой кладки нужно делать толщиной 8-10 мм и на столько же утопить их от поверхности стены.

3. Причиной изменения цвета может стать древесина поддонов, на которые укладывают кирпич. Из древесины подсасывается сок, который содержит ионы железа, вызывающие появление коричневых пятен на тех гранях, которые контактируют с поддоном. Для исключения подобного окрашивания следуют покрывать (пропитывать) древесину, бумагу парафином.

4. В период эксплуатации силикатный кирпич постепенно карбонизируется за счёт CO_2 , содержащейся в воздухе. Процесс начинается на открытой поверхности кирпича. В течение нескольких месяцев кирпич поглощает 3-4 % CO_2 . И даже кирпич, пролежавший на глубине 0,6 м под землёй в течение 20 лет, по периметру полностью карбонизируется. При этом веществами, цементирующими зёрна кварца, явились гель SiO_2 и CaCO_3 .

Но карбонизация практически не влияет на изменение цвета кирпича, т.к. пигменты не вступают в химическое взаимодействие с гидросиликатами кальция ни в период их образования, ни при распаде.

5. Загрязнение поверхности силикатного кирпича связано с пористостью наружного слоя. В процессе эксплуатации пористость изменяется, что обусловлено сульфатной коррозией, вызываемой воздействием SO_2 , находящегося в воздухе промышленных центров. В результате коррозии CaCO_3 , находящийся в поверхностном слое кирпича после карбонизации последнего, превращается в гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, постоянно вымываемый дождями, и пористость наружного слоя повышается.

При введении в формовочные смеси тонко молотого кварца и увеличении его плотности сульфатная коррозия значительно снижается. Коэффициент стойкости силикатного кирпича, изготовленного из смеси с тонкомолотым известково-кварцевым вяжущим, после двух лет пребывания в сульфатных растворах превысил 0,9.

4.10.3 Технология силикатного кирпича объёмного окрашивания

4.10.3.1 Технологические схемы и их оценки

Объёмное окрашивание может проводиться по нескольким схемам, представленным на рисунке:

1 схема - пигмент вводят в вяжущее при его помоле;

2 схема - пигмент вводят в силикатную смесь в процессе её приготовления централизованно, и сырец формируют одновременно на нескольких прессах;

3 схема - пигмент вводят в гашённую силикатную смесь перед одним из прессов.

В двух первых схемах высокие требования предъявляются ко всему формовочному оборудованию в части состояния гарнитуры прессов (штампы, формовочные коробки), автоматов укладчиков сырца и запарочных вагонеток. При работе по третьей схеме такие требования предъявляются лишь к одному прессу.

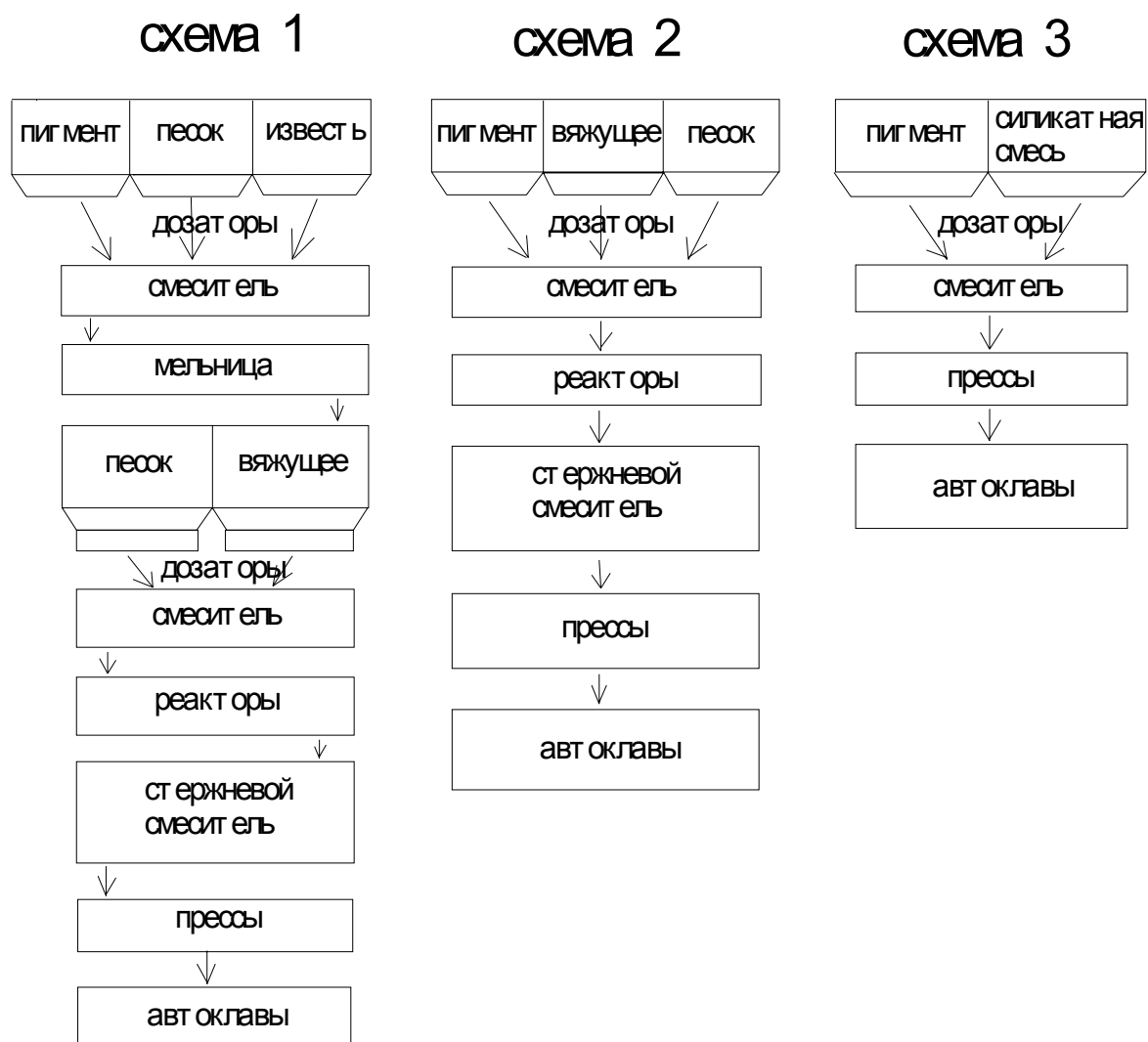


Рисунок 54 – Схемы подготовки цветной формовочной массы

Пигмент вводят в виде сухого порошка, густой пасты или жидкой суспензии в зависимости от того на какой стадии его добавляют в силикатную смесь, и в зависимости от красящей способности пигмента, определяющей его содержание в смеси.

При введении пигмента в силикатную смесь до гашения его применяют в виде порошка или жидкой суспензии, т.к. начальная влажность смеси вяжущего с песком составляет около 5 %, и в неё перед гашением добавляют ещё 2-4 % воды. Влажность гашеной смеси на выходе из силосов - 3,5-4,5 %, тогда как её оптимальная формовочная влажность - 5-5,5 %. Таким образом, с пигментом можно ввести в смесь только 1-1,5 % воды. В этом случае для определения консистенции пигмента основную роль играет его красящая способность и, следовательно, количество пигмента, необходимое для достижения заданного цвета кирпича. Так при использовании высокодисперсного железистоокисного жёлтого пигмента (вводят 1 %), его можно вводить в виде суспензии с содержанием воды 100-150 % от массы пигмента, а

для получения кирпича того же цвета при использовании охры её количество должно составлять 4-5 % от массы смеси при влажности 20-30 %, т.е. охра может быть введена в виде пасты или порошка.

При окрашивании смеси на отдельной линии пигмент можно вводить только в виде сухого порошка, т.к. рядовая силикатная смесь уже подверглась после гашения централизованному доувлажнению.

При введении пигмента в виде пасты необходимо учитывать водопотребность пигмента и консистенции пасты, т.к. при использовании густых паст они плохо смешиваются с силикатной массой.

4.10.3.2 Дозирование пигмента

Дозирование пигмента - важнейшая технологическая операция, определяющая однородность окрашивания кирпича и расход пигмента. Наибольшая однородность окрашивания наблюдается при порционном смешении компонентов. Высокая однородность наблюдается и при весовом непрерывном дозировании и смешении в стержневом смесителе. Неудовлетворительная однородность отмечается при объёмном дозировании и смешении в обычной лопастной мешалке.

Однородность окраски кирпича снижается с уменьшением дозировки пигмента и повышением его дисперсности, поскольку труднее смешать меньшее количество пигмента со всей смесью, к тому же при дозировании сухого тонкодисперсного пигмента во влажную смесь наблюдается его комкование. Поэтому тонкодисперсный пигмент с высокой красящей способностью лучше всего дозировать в мельницу и размалывать совместно с вяжущим либо вводить такие пигменты в виде водной суспензии.

Силикатная смесь после реактора обязательно должна обрабатываться в стержневом смесителе.

4.10.3.3 Формование и запаривание цветного сырца

К внешнему виду и размерам цветного кирпича предъявляют повышенные требования: отклонения по всем размерам не должно превышать ± 2 мм; клиновидность по толщине - не более 2 мм и т.д.; цвет кирпича должен быть однотонным без пятен, видимых с расстояния 10 м, потёков и других дефектов.

Повышенные требования предъявляются к состоянию оборудования. Нельзя допускать чрезмерного износа облицовочных пластин в штампах пресса, т.к. это приводит к появлению трещин и увеличению размеров кирпича.

Формование необходимо проводить при максимально возможном давлении пресса, что обеспечит повышенную плотность сырца и высокую морозостойкость.

Режим автоклавной обработки (температура и давление пара) должен учитывать свойства пигментов, т.к. ряд из них имеет низкую

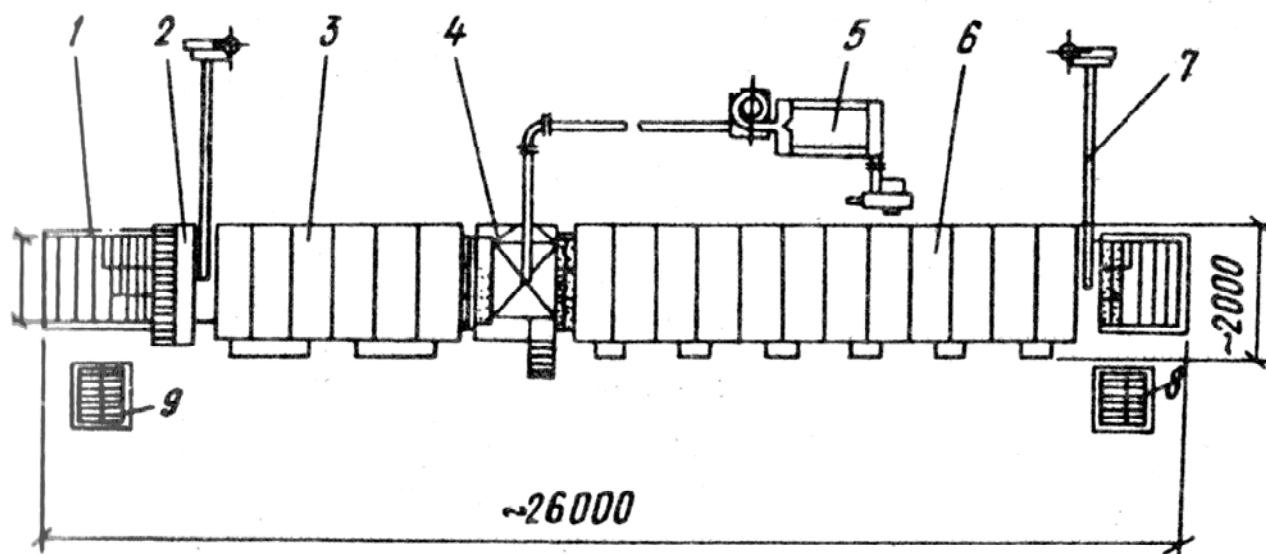
температуростойкость. Так железистый жёлтый и охра при нагревании выше 180 °С изменяют окраску в красный цвет - наблюдается переход



Автоклавная обработка должна быть по возможности короткой, чтобы пигменты, особенно активные, не успели вступить в реакцию с компонентами силикатной смеси, а малоактивные не загнулись большим количеством гидросиликатов кальция.

4.10.4 Технология послеавтоклавной отделки силикатного кирпича цветными эмалями

Разработан и внедрен на ряде заводов способ послеавтоклавной отделки силикатного кирпича цветными эмалями на основе полиэфирных и эпоксиодно-полиэфирных красок. Технологическая линия по нанесению полимерного покрытия на кирпич представлена на рисунке 55 [5].



1 – цепной конвейер, 2 – механическая щетка, 3 – печь, предварительного нагрева, 4 – порошкоукладчик, 5 – система аспирации, 6 – печь термического отверждения, 7 – система вентиляции, 8 – съем кирпича, 9 – укладка кирпича

Рисунок 55 – Технологическая линия изготовления лицевого кирпича с полимерным покрытием

Технология отделки кирпича включает в себя следующие операции:
- очистку и обеспыливание лицевой поверхности кирпича;
- прогрев поверхности кирпича в печи предварительного прогрева до температуры 240-260 °С;

- нанесение полимерминеральной порошковой краски на прогретую поверхность изделия;

- отверждение полимерминерального покрытия в печи полимеризации при температуре 200-230 °С.

Расход порошковой полимерминеральной краски составляет 175-200 г на 1 м² поверхности изделий или 3,5-4 кг на 1 тыс.шт. усл. кирпича, в том числе 2-2,5 кг собственно полимерной краски, остальное – наполнитель.

5 Стеновые изделия из ячеистого бетона

Изделия изготавливаются из ячеистого бетона, отвечающего требованиям ГОСТ 25485-89 [34].

Ячеистый бетон - легкий пористый материал, состоящий из цемента, извести и тонкомолотого песка или другого кремнеземистого материала и поризованный введением воздуха или газа в шлам, не содержащий крупнозернистого материала.

Ячеистый бетон подразделяют:

- по назначению;
- по условиям твердения;
- по способу порообразования;
- по видам вяжущих и кремнеземистых компонентов.

По назначению выделяют следующие виды бетона:

- конструкционный (класс бетона по прочности В7,5-В15; марки по плотности D1000, D1100, D1200);
- конструкционно-теплоизоляционный (В1-В10; D500, D600, D700, D800, D900);
- теплоизоляционные (В0,5-В1,5; D300, D350, D400, D500).

По условиям твердения:

- автоклавные - твердеют в среде насыщенного пара при давлении выше атмосферного;
- неавтоклавные - твердеют в естественных условиях (гидратационного твердения), при электронагреве или в среде насыщенного пара при атмосферном давлении.

По способу порообразования:

- газобетон;
- пенобетон;
- газопенобетон.

По виду вяжущих и кремнеземистых компонентов:

- по виду основного вяжущего:
 - а) на известковых вяжущих, состоящих из извести-кипелки, более 50 % по массе, шлака и гипса или добавки цемента до 15 % по массе;
 - б) на цементных вяжущих, в которых содержание портландцемента по массе 50 % и более;
 - в) на смешанных вяжущих, состоящих из портландцемента от 15 до 50 % по массе, извести или шлака, или шлакоизвестковой смеси от 15 до 50 % по массе;
 - г) на шлаковых вяжущих, состоящих из шлака более 50 % по массе в сочетании с известью, гипсом или щелочью;
 - д) на зольных вяжущих, в которых содержание высокоосновных зол по массе 50 % и более;
- по виду кремнеземистого компонента:

а) на природных материалах – тонкомолотом кварцевом и других песках;

б) на вторичных продуктах промышленности - золе-уносе ТЭС, золе гидроудаления, вторичных продуктах обогащения различных руд, отходах производства ферросплавов и других.

5.1 Характеристики ячеистого бетона

Прочность автоклавного и неавтоклавного бетонов характеризуются классами по прочности на сжатие в соответствии с СТ СЭВ 1406. Установлены следующие классы: В0,5; В0,75; В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В12,5; В15.

Для конструкций, запроектированных без учета требований СТ СЭВ 1406 предел прочности бетона на сжатие характеризуется марками: М7,5; М10; М15; М35; М50; М75; М100; М150; М200.

По показателям средней плотности назначают следующие марки бетонов в сухом состоянии: D300; D350; D400; D500; D600; D700; D800; D900; D1000; D1100; D1200.

Для бетонов конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию, назначают и контролируют следующие марки бетона по морозостойкости: F15; F25; F35; F50; F75; F100.

В зависимости от вида и плотности бетона нормируются также следующие показатели:

- усадка при высыхании бетона;
- коэффициент теплопроводности;
- отпускная влажность: не более 25 % - для ячеистого бетона на песке; не более 35 % - на основе зол и других отходов производства;
- показатели сорбционной влажности и паропроницаемости;
- призмная прочность, модуль упругости, прочность при растяжении (для нормирования расчетных характеристик бетона).

5.2 Материалы

Материалы, используемые при производстве ячеистых бетонов, должны отвечать следующим требованиям.

1. Вяжущие:

- портландцемент - по ГОСТ 10178-85 [26] (не содержащий добавок трепела, глиежа, трасов, глиниста, опоки, пеплов), содержащий C_3A не более 6 %, для изготовления крупноразмерных конструкций на цементе или смешанном вяжущем;

- известь негашеная кальциевая по ГОСТ 9179-77 [25], быстрогасящаяся и среднегасящаяся, имеющая скорость гашения 5-25 минут и содержащая активные $CaO+MgO$ более 70 % , «пережога» менее 2 %;

- шлак доменный гранулированный - по ГОСТ 3476-74 [16];

- зола высокоосновная – по ОСТ 21-60 [34], содержащая CaO не менее 40 %, в том числе CaO_{св} не менее 16 %, SO₃ – не более 6 % , R₂O - не более 3,5 %.

2. Кремнеземистые компоненты:

- песок – по ГОСТ 8736-93 [23], содержащий SiO₂ (общий) не менее 90 % или кварца не менее 75 %, слюды не более 0,5 %, илестых и глинистых примесей не более 3 %.

- золы–уносы ТЭС – по ОСТ 21-60, содержащие SiO₂ не менее 45%, CaO - не более 10 %, R₂O – не более 3 %, SO₃ – не более 3 %;

- продукты обогащения руд, содержащие SiO₂ не менее 60 %.

3. Порообразователи:

- газообразователь – алюминиевая пудра марок ПАП-1 и ПАП-2 по ГОСТ 5494-95 [19] ;

- пенообразователь на основе:

а) костного клея;

б) мездрового клея;

в) сосновой канифоли;

г) едкого технического натра;

д) скрубберной пасты.

4. Регуляторы структурообразования, нарастания пластической прочности, ускорители твердения и пластифицирующие добавки:

- камень гипсовый и гипсоандгидритовый;

- калий углекислый;

- кальцинированная техническая сода;

- стекло натриевое жидкое;

- триэтанолламин;

- тринатрийфосфат;

- суперпластификатор С-3;

- натрий едкий технический;

- карбоксилметилцеллюлоза;

- сульфат натрия кристаллический.

5. Вода по ГОСТ 23732-79 [33] .

Подбор состава бетонов проводится по ГОСТ 27006-86 [36] и прочим пособиям.

5.3 Номенклатура изделий и конструкций

В соответствии с ГОСТ 25485-89 рекомендуется следующая номенклатура изделий и конструкций:

1) панели стеновые наружные бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий по ГОСТ 11024-84 [27];

2) панели из автоклавных ячеистых бетонов для внутренних несущих стен, перегородок и перекрытий жилых и общественных зданий по ГОСТ 19570-74 [31];

3) изделия из ячеистых бетонов теплоизоляционные по ГОСТ 5742-76 [18];

4) блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие по ГОСТ 21520-89 [32];

5) (панели стеновые внутренние бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий по ГОСТ 12504-80 [29];

6) панели из автоклавных ячеистых бетонов для наружных стен зданий по ГОСТ 11118-73 [28].

Автоклавные бетоны применяют для изготовления всей рекомендуемой номенклатуры изделий и конструкций; неавтоклавные для изготовления мелких стеновых блоков и теплоизоляции.

Одной из наиболее распространенных разновидностей изделий из ячеистых бетонов являются блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие, выпускаемые согласно ГОСТ 21520-89. Блоки предназначены для кладки наружных, внутренних стен и перегородок зданий с относительной влажностью воздуха помещений не более 75 % и при неагрессивной среде.

Изделия (блоки) выпускаются 10 типов, от I до X, размерами при укладке на растворе:

- высота 88, 119, 144, 188 и 288 мм;

- толщина 200, 250, 300 мм;

- длина 288, 388, 588 мм.

При укладке на клею:

- высота 98, 198, 298 мм;

- толщина 195, 245, 295 мм;

- длина 298, 398, 598 мм.

Блоки из ячеистых бетонов характеризуются следующими показателями.

Классы (марки) бетона по прочности при сжатии и марки по средней плотности должны быть не ниже В1,5 (М25) и не выше D1200 соответственно (минимальная марка по плотности D500).

Отпускная влажность бетонов блоков, не более, %:

- 25 - на основе песка;

- 35 - на основе золы и других отходов производства.

Марка бетона по морозостойкости должна быть не ниже:

- F25 – для блоков наружных стен;

- F15- для блоков внутренних стен.

Существует определенное соотношение между марками бетона по средней плотности и классами бетона.

Материалы и бетон для изготовления блоков должны соответствовать ГОСТ 25485-89.

В условное обозначение (маркировку) блоков входят следующие параметры: тип, класс по прочности на сжатие, марка по плотности, марка по морозостойкости и категория.

Например: I-B2,5 D500 F35-2.

5.4 История, состояние, перспективы развития изделий из ячеистых бетонов

Впервые способ поризации цементно-песчаной композиции с помощью алюминиевого порошка был предложен в США в 1914 г. Разработка способа изготовления ячеистого бетона была выполнена шведом Эрикссоном А. в 1924 г. Производство предложенного «газосиликата» было начато в г. Иксхульт в 1929 г.

Позднее в Дании был разработан пенобетон.

В начале 30-х годов на основе портландцемента и молотого кварцевого песка, поризованных алюминиевой пудрой финном Форсэном и шведом Эклундом был получен автоклавный ячеистый бетон «Сипорекс».

В СССР исследования в области ячеистого бетона были начаты в 1928 г., а в 1930 г. в строительстве уже начали применять пенобетон. Первые заводы по производству ячеистого бетона у нас появились в 1939-1940 гг.

В настоящее время имеется ряд заводов, выпускающих ячеистые бетоны: теплоизоляционные (плотность не более 500 кг/м^3 , конструкционно-теплоизоляционные (плотность $500-900 \text{ кг/м}^3$), конструкционные (плотность $1000-1200 \text{ кг/м}^3$).

Конструкционно-теплоизоляционные бетоны применяются в ограждающих конструкциях жилых и общественных, сельскохозяйственных и промышленных зданий и сооружений.

Конструкционный бетон применяют для изготовления несущих элементов жилых и сельскохозяйственных зданий.

Более 93 % всего объема ячеистого бетона в СССР выпускалось с автоклавной обработкой, использование которой позволит исключить или сократить расход цемента на изготовления изделий, а также в ряде случаев снизить расход извести за счет широкого внедрения в технологию промышленных отходов.

К 1965 г. в СССР производство ячеистого бетона достигло 2,7 млн. м^3 . За счет введения в эксплуатацию в конце 70-х годов новых заводов производительностью более 200 тыс. м^3 в год ячеистого бетона к 1977 г. объем его производства достиг 5,8 млн. м^3 .

В 1989 г. производство ячеистого бетона в СССР было сосредоточено на 96 предприятиях. Выпускалась обширная номенклатура изделий. Возрос объем производства мелких блоков и стеновых панелей при одновременном сокращении выпуска теплоизоляционных изделий. Качество изделий в целом по стране оставалось низким, значительно уступая уровню изделий зарубежных фирм. Средней уровень механизации в производственных цехах составил 61,1 %.

В настоящее время производство изделий из ячеистого бетона осуществляется по двум технологиям: 1. комплексной ударно-вибрационной; 2. резательной. В последние годы преимущественно развивается резательная, по которой осуществляется производство стеновых блоков. Разработаны и

продолжают совершенствоваться формовочные комплексы по производству блоков из ячеистых бетонов.

Широкое применение ячеистые бетоны находят за рубежом. Крупнейшим производителем является Польша – 6 млн. м³ ячеистого бетона в год. Ячеистый бетон здесь выпускается по отечественной технологии «Униполь», важным достоинством которой является использование в качестве кремнеземистого компонента золы-уноса ТЭС. По этой причине большинство заводов расположены по соседству с ТЭС, с которых зола-унос поступает пневмотранспортом. Заводы также используют горячую воду и отходы пара ТЭС, что обеспечивает высокую рентабельность производства. Работают на смешанном цементно-известковом вяжущем.

Чехия и Словакия занимали одно из первых мест в мире по производству ячеистого бетона на душу населения. Выпускалось приблизительно 3 млн. м³ ячеистого бетона. Заводы второго поколения построены по поставкам фирм «Сипорекс» и «Калсилекс». Как правило заводы в качестве кремнеземистого сырья используют золу-унос и смешанное вяжущее (известь:цемент=2:1) либо известь. Крупноразмерные изделия - стеновые блоки и теплоизоляционные плиты изготавливают по резательной технологии. Средняя плотность стеновых блоков – 500 кг/м³, прочность - 2,5 МПа; уделяется здесь внимание и повышению степени индустриальности конструкций из ячеистых бетонов. С этой целью из армированных изделий, получаемых вертикальной разрезкой массива, осуществляется сборка составных панелей размером «на комнату» с встроенными окнами, балконами, дверями и подоконными плитами (размер их 6000x2400 мм).

В Германии выпускаются изделия из ячеистых бетонов плотностью 600-650 кг/м³ при прочности 5 МПа.

Производство ячеистого бетона в Японии возросло с 1967 г. по 1977 г. в 10 раз. При плотности 500 кг/м³ прочность при сжатии ячеистого бетона достигает 15 МПа. Армированные панели из ячеистых бетонов используются в качестве ограждающих конструкций в сооружении высотных зданий с повышенной сейсмичностью.

За рубежом изделия из ячеистого бетона выпускают преимущественно по технологиям фирм «Итонг» и «Сипорекс» (Швеция) и «Хабель» (Германия). Названные технологии ориентируются на использованные в качестве кремнеземистого сырья зол-уносов ТЭС.

Широко используется ячеистый бетон в странах Ближнего востока (Израиль, Саудовская Аравия), располагающих высокочистыми кварцевыми песками (содержание SiO₂ приблизительно составляет 99,85 %) и известняками.

В Швеции основными производителями ячеистого бетона являются фирмы «Итонг», «Сипорекс», которые являются крупнейшими поставщиками на мировом рынке технологий и оборудования. Фирма «Итонг» выпускает ячеистый бетон плотностью 200 кг/м³ при прочности при сжатии не менее 2 МПа. Предприятие работает по резательной технологии.

Высокое качество блоков объясняется тщательной отработкой технологии. Так фирмой «Сипорекс де Бернон» во Франции на одном из своих заводов организовано полностью автоматизированное производство автоклавных ячеистых бетонов. Благодаря высокой точности размеров блоков укладка их осуществляется на клею. Средняя плотность изделий 450 кг/м^3 , прочность при сжатии 3 МПа, теплопроводность - $0,17 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Используется песок с содержанием $\text{SiO}_2 = 95-98 \%$; с этой целью предусмотрена промывка его от примесей глины. Помол песка осуществляется мокрым способом до удельной поверхности около $2500-3000 \text{ см}^2/\text{г}$. Формование бетонных массивов осуществляется в разъемных формах размерами $6000 \times 1500 \times 800 \text{ мм}$. Вспучивание и схватывание ячеисто-бетонной смеси, залитой в формы, осуществляется в специальных туннелях вызревания длиной 65 м, шириной 10 м, в которых поддерживается высокая влажность при температуре $60 \text{ }^\circ\text{C}$. После вертикальной продольной и поперечной разрезки сырец подвергается автоклавной обработке при давлении 1,1 МПа продолжительностью цикла 10 ч. Готовые изделия после контроля и маркировки на деревянных поддонах упаковываются в термоусадочную пленку.

Стеновые блоки из ячеистых бетонов по всем показателям являются наиболее эффективным стеновым материалом. Особенно эффективно их использование в сельском хозяйстве. Так для Московской области стоимость 1 м^2 стены из газосиликатных изделий на 30 % ниже, чем из эффективного кирпича или керамзитобетонных панелей. Укладка одного блока размером $200 \times 250 \times 600 \text{ мм}$ и массой 21 кг (при плотности 600 кг/м^3) соответствует одновременной укладке 14 штук условных стандартных кирпичей.

В ближайшие годы предусматривается повсеместное освоение производства армированных конструкций из ячеистого бетона средней плотностью D500 при классе по прочности B2,5 (марка 35).

5.5 Технология силикатных ячеистых материалов

Технологический процесс изготовления ячеистых материалов включает в себя следующие пределы:

- подготовка сырьевых материалов;
- приготовление ячеисто-бетонной смеси;
- формование;
- гидротермическая обработка;
- отделка поверхности изделий.

Подготовка сырьевых материалов заключается в измельчении компонентов сырьевой смеси, взятых в определенных пропорциях, и их усреднении (гомогенизации).

Измельчение – одна из основных технологических операций, при которой достигается не только повышение реакционной поверхности компонентов, но и механическое активирование в результате увеличения поверхностной энергии (следствие аморфизации кристаллических веществ).

Целесообразен совместный помол компонентов (известь + песок), так как при этом наблюдается протекание механохимических реакций, что повышает активность ячеисто-бетонной смеси [5].

Контроль дисперсности компонентов и сырьевой смеси осуществляется по удельной поверхности, определяемой на приборе ПСХ-2. В зависимости от плотности ячеистых материалов Строительные нормы СН 277-80 (Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона) [38] рекомендуют следующие значения удельной поверхности молотого кремнеземистого компонента (песка), $\text{м}^2/\text{кг}$:

- 150-200 для материала плотностью $\rho_0=800 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- 200-230 для материала плотностью $\rho_0=700 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- 230-270 для материала плотностью $\rho_0=600 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- 270-300 для материала плотностью $\rho_0=500 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Кинетика процесса формирования структуры силикатного камня также определяется химической активностью кремнеземистого компонента. Последняя также определяет фазовый и морфологический состав синтезируемых новообразований, а также их объем, необходимый для омоноличивания непрореагировавших частиц и заполнения их межзерновой пустотности. Поэтому наряду с удельной поверхностью, необходимо контролировать растворимость кремнеземистого компонента (A_0) и его межзерновую пустотность (Π). A_0 определяется при условиях автоклавной обработки.

На отечественных заводах применяется мокрый помол основной массы кремнеземистого компонента и сухой помол известково-песчаного вяжущего при соотношении известь:песок = 1:0,2 – 1:1.

Содержание воды в шламе должно быть достаточным для обеспечения его нормальной текучести, а плотность песчаного шлама $\rho_{\text{ш}}=1,6-1,8 \text{ кг}/\text{л}$. Мокрый помол осуществляется в присутствии ПАВ, расход которых составляет 0,01-0,03 %, или добавки извести в количестве до 3 %.

Но может быть применена и «сухая» схема подготовки кремнеземистых компонентов, что позволяет повысить прочностные характеристики ячеистого бетона на 15-20 %. Для успешного применения сухой схемы необходимы стабильность характеристик сырьевых материалов и высокая культура труда.

5.5.1 Определение состава ячеисто-силикатной смеси

Поскольку в основе технологии ячеисто-силикатных материалов лежит синтез цементирующих новообразований, омоноличивающих исходную композицию, а не применение специальных вяжущих, то состав ячеисто-силикатной смеси определяется как технологическими характеристиками кремнеземистого компонента (удельной поверхностью, межзерновой пустотностью, химической активностью - растворимостью или интегральной его характеристикой - удельной химической активностью), так и параметрами автоклавной обработки – температурой и длительностью изотермической выдержки при максимальной температуре.

Также состав смеси определяется строительно-эксплуатационными показателями изделий. На первом этапе состав смеси для опытных замесов определяется в соответствии с СН 277-80. Затем с использованием методов планирования активного многофакторного эксперимента следует получить количественные зависимости между основными свойствами ячеисто-силикатного материала и технологическими параметрами: соотношение между компонентами исходной смеси, дисперсность кремнеземистого компонента, расход воды, режим автоклавной обработки.

Следует учитывать, что низкое качество извести нельзя пытаться компенсировать увеличением расхода цемента, поскольку введение цемента в сырьевую смесь более 10-12 % (от массы сухих компонентов) оказывает негативное воздействие на прочность и трещиностойкость ячеистых бетонов. Это связано с ухудшением качества структуры синтезируемого силикатного камня: снижение степени закристаллизованности новообразований, повышение их средней основности (определяется соотношением между CaO и SiO_2) и содержания в единице объема.

Замена части извести цементом вызвана технологическими соображениям, связанными с обеспечением необходимой пластической прочности ячеисто-бетонного сырца и времени её достижения. Поэтому при использовании смешанного вяжущего более эффективным является применение шлакопортландцемента, а не портландцемента.

5.5.2 Приготовление формовочной смеси

Для приготовления формовочной смеси используют специальные смесители: гидродинамические ГДС-3, вибросмеситель (виброгазо-бетономешалка) СМС-40 или их модификации.

В виброгазобетономешалке объемом 5 м³ перемешивание компонентов длится 3-4 минуты, при этом достигается высокая однородность смеси. Наряду с пропеллерной мешалкой, смеситель оборудован двумя вибраторами, прикрепленными на пластинчатых подвесках к корпусу мешалки. Вибрационные воздействия оказываются через поршни, установленные внутри корпуса мешалки. Сменой дебалансов вибраторов можно изменить частоту и амплитуду колебаний.

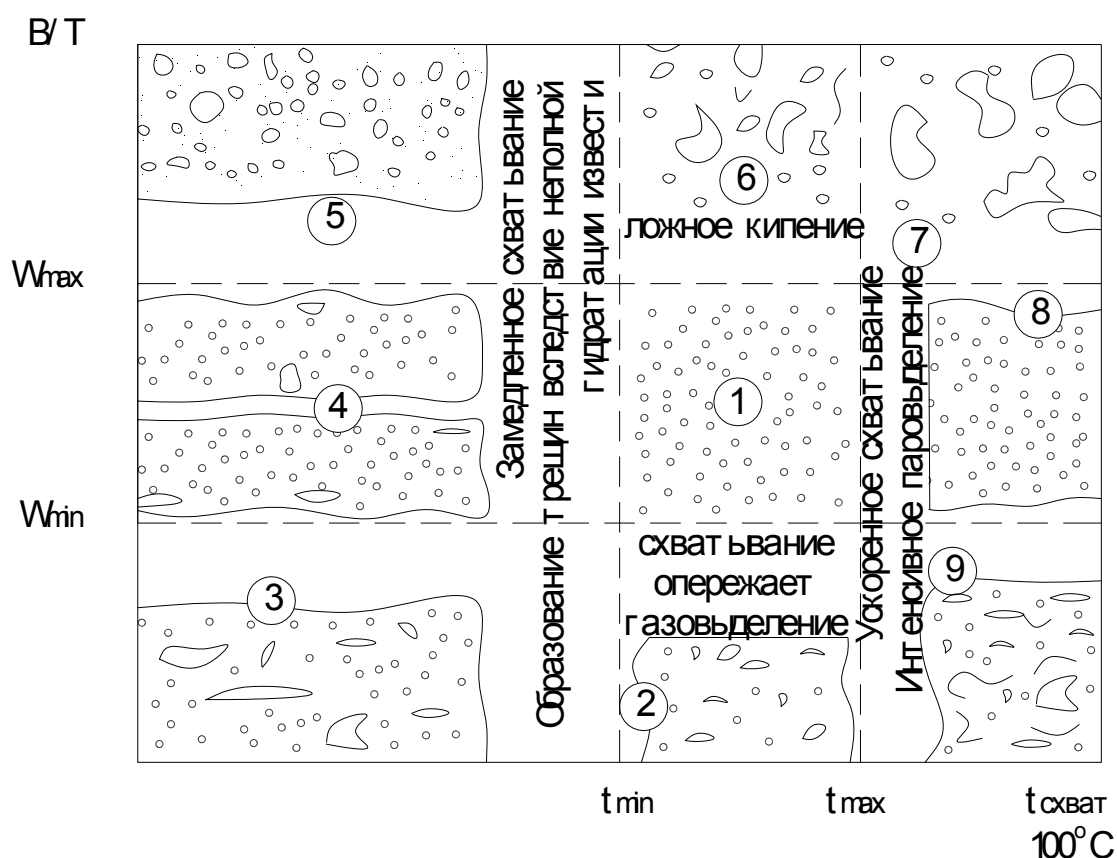
Рекомендуется (в отличие от рекомендаций СН 277-80) следующая последовательность загрузки компонентов: песчаный шлам + водная суспензия алюминиевой пудры +добавка ПАВ+ вода + цемент + известково-песчаное вяжущее. Продолжительность перемешивания после введения известково-песчаного вяжущего не должна превышать 2 минут, а температура смеси 35⁰С.

5.5.3 Формование изделий

Формование является одной из основных технологических операций, в процессе которой происходит формирование пористой структуры бетона. Основным условием получения качественной структуры ячеистого бетона с

порами правильной шаровидной формы, равномерно распределенными в массе бетона без дефектов структуры - расслоений, разрывов межпоровых перегородок и других - является соответствие кинетики газовыделения изменению реологических характеристик вспучиваемой ячеисто-бетонной массы.

А.И. Федьниным [5] предложена модель формирования ячеистой пористости, позволяющая проанализировать влияние основных технологических факторов (вода-твердого отношения и температуры смеси) на характер процессов вспучивания и созревания ячеистой силикатной смеси.



t_{\min} и t_{\max} - нижний и верхний пределы рациональных значений температуры смеси; W_{\min} и W_{\max} - нижний и верхний пределы оптимальных значений формовочной влажности

Рисунок 56 - Физическая модель процессов вспучивания и схватывания силикатной ячеистой смеси в зависимости от температурно-влажностных условий

Каждый из рассматриваемых факторов (вода-твердое отношение и температура смеси) может усиливать или ослаблять воздействие другого на кинетику вспучивания в зависимости от реальных условий – наличия внешних механических воздействий на вспученную смесь, температуры и влажности

окружающей среды, состава ячеистобетонной смеси, качества извести, расхода ее и температуры воды затворения.

Наиболее опасны области 4, 5 и 6, которые отражают явление «ложного кипения» и 2, 8 и 9, характерные для случая, когда схватывание опережает газовыделение. В последнем случае смесь схватывается до того, как завершится процесс газовыделения и заданная плотность не будет достигнута; межпоровые перегородки окажутся пронизанными трещинами.

«Ложное кипение» сопровождается прорывом газа из формуемой массы, ее просадкой и увеличением плотности готовых изделий. Наблюдается тогда, когда газовыделение опережает набор ячеисто-бетонной массой требуемой пластической прочности.

Для достижения сбалансированности скоростей газовыделения и нарастания пластической прочности вспученной массы, которая в начале газовыделения должна нарастать медленно, а в конце быстро, используют различные технологические приемы: изменяют температуру массы и воды, применяют специальные добавки для регулирования скорости гашения извести, частично загашивают известь.

Наиболее эффективное воздействие на процесс структурообразования оказывает механическое воздействие на вспучивающуюся смесь. С этой целью разработана и широко используется комплексная вибрационная технология формирования ячеистого бетона. При воздействии вибрации происходит тиксотропное разжижение ячеисто-бетонной массы, что позволяет регулировать кинетику изменения её пластично-вязких свойств с учетом кинетики газовыделения. Особенно эффективна такая обработка при использовании в составе ячеисто-бетонной смеси добавки ПАВ.

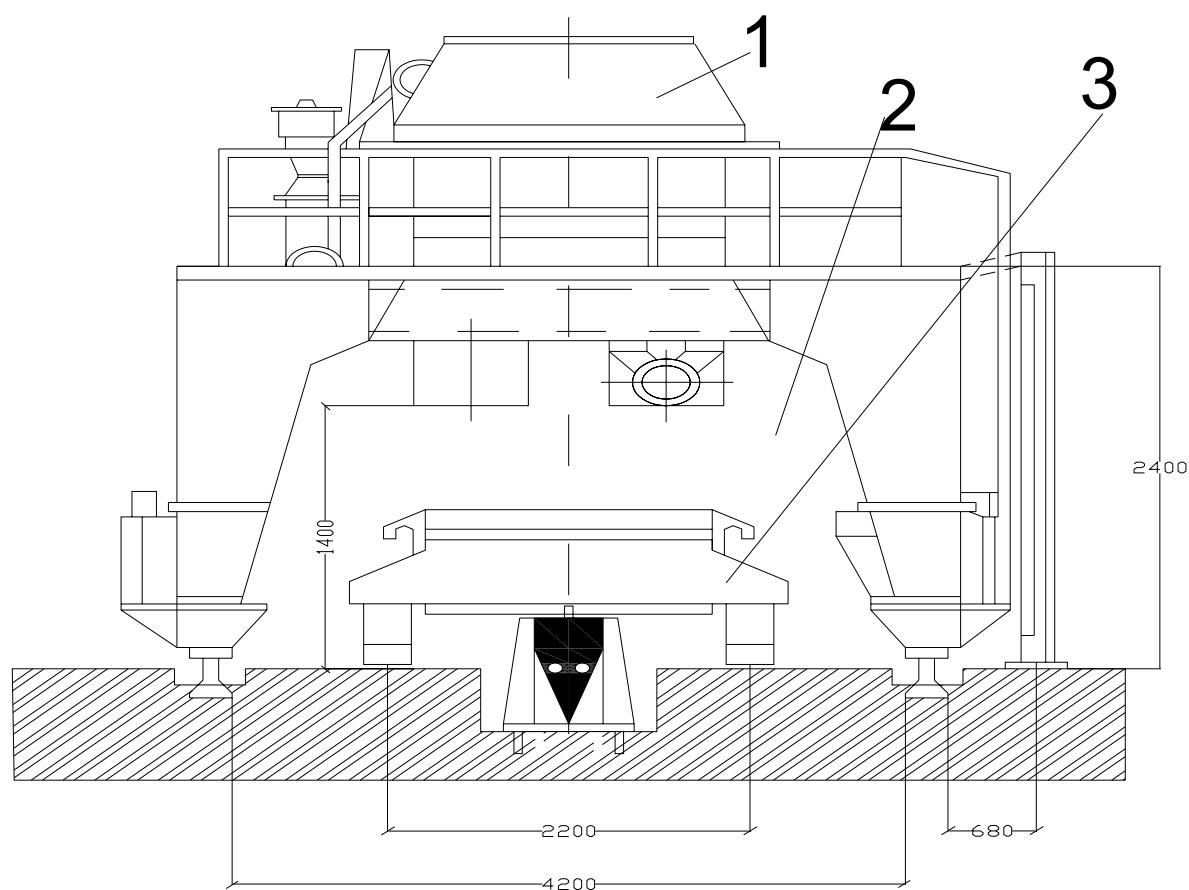
Схема поста виброформования приведена на рисунке 57.

После прекращения вибрации наблюдается быстрое восстановление разрушенных структурных связей, что приводит к интенсивному нарастанию пластической прочности и несущей способности поризованной массы; исключается «ложное схватывание» и просадка массы.

Образовавшуюся при вспучивании массы «горбушку» срезают или прикатывают. Прикатка осуществляется машиной, оборудованной устройством для срезки «горбушки» до необходимой толщины и прикатывающим валом длиной 2 или 3 м. Прикатка осуществляется при достижении пластической прочности поверхностного слоя 0,015-0,02 МПа. При прикатывании горбушки получают изделия с вариотропной структурой. Поверхность вала имеет температуру 150-200 °С за счет нагрева внутренними электронагревателями, что приводит к появлению паровой прослойки между валком и прикатываемой поверхностью и исключает налипание смеси на вал. Изделия получают переменной плотности: от 1,6 на поверхности до 0,5-0,7 т/м³ на глубине 2-5 см от поверхности. Уплотненный поверхностный слой предохраняет изделие от атмосферного воздействия и механических повреждений.

Прикатка «горбушки» осуществляется при формировании изделий в индивидуальных формах.

При формировании часто наблюдается осадка смеси после достижения максимальной величины вспучивания, что приводит к образованию пустот под арматурой. Это ухудшает сцепление арматуры с материалом и увеличивает вероятность ее коррозии. Применение вибрационной технологии позволяет практически исключить это негативное явление.



1 – вибробетонотомешалка; 2 – передвигающийся портал; 3 – виброплощадка

Рисунок 57 – Пост виброформования

При вибрационной технологии можно использовать высоковязкие смеси с низким расходом воды затворения. Используется стандовая или конвейерная технологии.

Разработана ударная технология формирования ячеистого бетона на установках, создающих низкочастотные механические воздействия на вспучивающуюся ячеистобетонную смесь. Схема ударной площадки, используемой при реализации этой технологии приведена на рисунке 58.

Грузоподъемность площадки составляет 20 т. Она состоит из двух сварных рам: нижней неподвижной 11, закрепленной на железобетонном

фундаменте, и верхней подвижной 2, которая заполнена минеральной ватой, позволяющей снизить уровень шума при работе площадки.

Верхняя рама поднимается с помощью электродвигателя 3, соединенного посредством муфты 4 с редуктором 5, передающего вращение продольному валу 6 и поперечному валу 7. На нижней раме размещаются кулачки 8, которые соприкасаются с роликами 9, закрепленными на верхней раме 2. Кулачки поднимают подвижную раму до крайнего верхнего положения и рама под действием собственной массы и массы формы 12, с находящейся в ней смесью, свободно падает на нижнюю раму. При этом она соударяется с опорными рельсами 1, закрепленными на верхней и нижней рамах.

Регулирование интенсивности ударных воздействий на вспучивающуюся смесь достигают изменением высоты подъема верхней рамы.

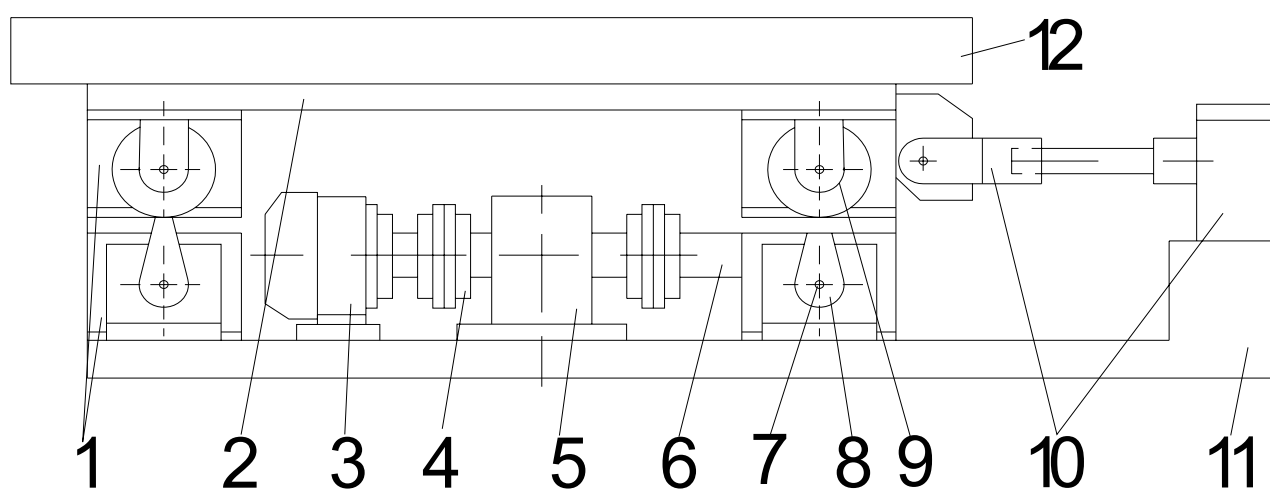


Рисунок 58 – Схема ударной площадки

При литьевой технологии используют агрегатно-поточный метод формования. Заливка, вспучивание, схватывание и разрезка массива осуществляются в формах, не подвергаемых перемещениям.

5.5.4 Защита арматуры от коррозии

Для армирования ячеисто-бетонных изделий используют обычные арматурные стали, поэтому, учитывая значительную пористость бетона, в обязательном порядке необходимо проводить защиту арматуры.

СН 277-80 рекомендуется использовать в качестве антикоррозионных покрытий цементно-битумные, цементно-полистирольные, горячие ингибированные сланцебитумные цементные или латексно-минеральные мастики. Составы мастик, методики их приготовления и нанесения приведены в СН 277-80.

Наилучшие результаты получены при использовании латексно-минеральной мастики, состоящей из синтетического латекса, стабилизатора

латекса, минерального наполнителя и воды. Покрытие наносится путем окунания арматурного каркаса в рабочий состав с последующей сушкой в цехе в течение 1,5-2 ч при температуре 20 °С. Толщина покрытия при однократном нанесении 0,4-0,5 мм, а при двукратном – 0,7-0,9 мм.

5.5.5 Отделка поверхности изделий

Архитектурная выразительность сооружений из ячеисто-бетонных изделий и долговечность зависят от качества защитно-декоративной отделки. Защитно-декоративные покрытия должны удовлетворять следующим требованиям:

- водонепроницаемость, характеризуемая количеством воды профильтровывающейся через 1 м² поверхности покрытия за 24 часа; не должна превышать 25 л/м²;
- адгезия покрытия к ячеистому бетону, характеризуемая прочностью нормального сцепления, должна отвечать условию $R_{сц}^{нач} \geq 0,1R_{сж}$, а спустя 14 дней $R_{сц} \geq 0,6$ МПа;
- морозостойкость – не менее 35 циклов.

Сопротивление паропроницаемости $R_{п}$ (м²/ч·мм рт.ст./г), определяющее температурно-влажностный режим в помещении и долговечность изделий (при высокой паропроницаемости наблюдается интенсивная карбонизация бетона), рассчитывается по формуле

$$R_{п} = \frac{\delta}{\mu}, \quad (78)$$

где δ – толщина защитно-декоративного слоя, м;

μ – коэффициент паропроницаемости отделочного слоя, г/(м·ч·мм рт.ст.).

Для наружных покрытий $R_{п} \leq 4$ м²/ч*мм рт.ст./г

Наибольшее распространение имеют следующие виды заводской отделки ячеисто-бетонных изделий:

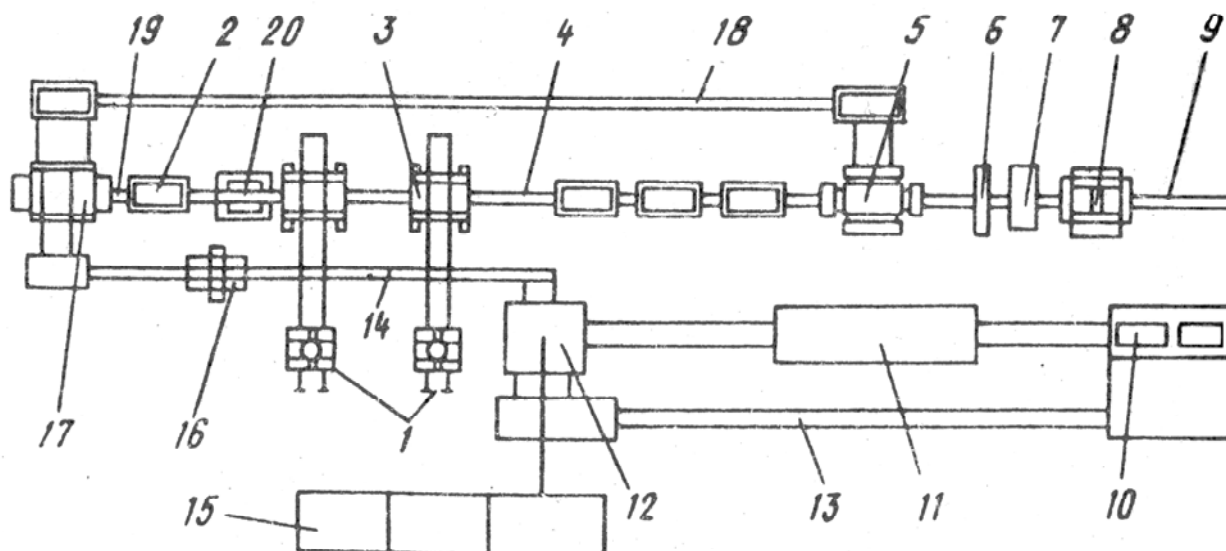
- отделка в процессе формования природным камнем с размером зерен 10-20 и 20-40 мм;
- отделка плиточными материалами;
- рельефная отделка поверхности.

При этих видах отделки на дно формы укладывают зерна крупного заполнителя по песчаному подстилающему слою либо ковры плитки, либо же матрицы, имеющие рельефную поверхность.

Отделка также может осуществляться и после автоклавной обработки, как правило, непосредственно на предприятии производящем ячеисто-бетонные изделия. Отделка выполняется на механизированных линиях путем окраски, нанесением тонкослойной декоративной штукатурки, наклеиванием декоративных дробленых или плиточных материалов.

5.5.6 Комплексы для изготовления блоков из ячеистых бетонов

Комплекс на базе «Универсал-60» рассчитан на производство 80 тыс.м³ стеновых блоков в год. Цех с комплексом «Универсал-60» привязывается к заводам по выпуску силикатного кирпича, что снижает затраты на подготовку извести и песка, систему парообеспечения [5].



1 - смеситель; 2 - форма; 3 - виброплощадка; 4 - пост выдержки; 5 - установка разборки форм; 6 - устройств подрезки массива; 7 - устройство для снятия горбушки; 8 — машина продольно-поперечной разрезки; 9 - накопительный конвейер; 10 - автоклавная тележка; 11 - автоклав; 12 – установка разборки автоклавных тележек; 13 - линия возврата автоклавных тележек; 14 - конвейер возврата поддонов; 15 – склад готовой продукции; 16 - установка для сборки форм; 17 - конвейер подачи форм; 18 - линия возврата бортоснастки; 19 - установка для смазки форм

Рисунок 59 - Схема технологической линии с разрезкой массива на формовочном поддоне

Работа линии, схема которой приведена на рисунке 59, протекает следующим образом. Ячеисто-бетонная смесь загружается в смесители, перемещающиеся по подвесным рельсовым путям, расположенным поперек линии формования. Смесь заливается в формы 2, находящиеся в это время на виброплощадках 3. Набор необходимой пластической прочности сырцом протекает на постах выдержки конвейера 4; этот процесс длится около 60 мин. Затем формы перемещаются мостовым краном на установку разборки форм 5,

на которой производится снятие бортовой оснастки. Далее поддон с массивом направляется на установки калибровки по высоте 6, снятия горбушки 7 и машину продольно-поперечной резки 8. Бортооснастка по линии возврата бортооснастки 18 подается к началу конвейера подачи форм 17.

Резательная машина включает в себя следующие основные узлы: рабочий стол, установки продольной и поперечной резки, систему удаления отходов, задний упор. Рабочий стол состоит из отдельных элементов, куда устанавливается разрезаемый массив; между элементами размещена автоклавная рама (решетка).

Установка продольной резки состоит из портала и привода. Рейки (продольные штанги) перемещаются в пазах рабочего стола. Вертикальные режущие струны закреплены одним концом в портале, другим – в рейках; горизонтальные струны крепятся к portalу. Все струны (и вертикальные, и горизонтальные) прикреплены к portalу механизмами для быстрой замены струн через компенсирующие пружины. Перемещение установки вдоль рабочего стола и по рельсовому пути осуществляется посредством привода, состоящего из четырехскоростного электродвигателя, редуктора и зубчатых колес с рейками.

Установка поперечной резки включает в себя самоходный портал с автоматическими фиксаторами и два механизма пропиливания. Механизм для резки мелких блоков имеет раму и 12 струн, установленных с шагом 200 мм. Рама для одинарных разрезов имеет одну струну и отдельный привод подачи. Возвратно-поступательное движение обоих механизмов резки осуществляется от электродвигателя через редуктор и кривошипно-шатунный механизм. Режущие струны – пружинная проволока диаметром 1,2-1,6 мм с навитой на нее спиралью.

Упор прижимается к заднему торцу массива и предотвращает разрушение массива в конце резки при выходе из него струн. Приводом заднего упора является пневмоцилиндр.

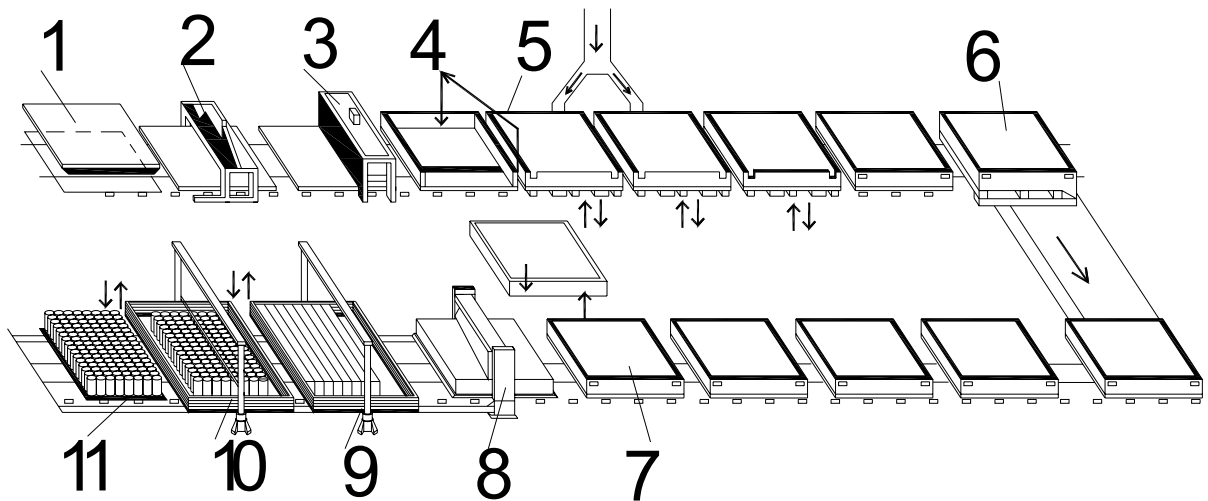
После резки массив посредством автоклавной решетки укладывается на автоклавную тележку и направляется в автоклав на запаривание. Используются автоклавы диаметром 2000 и 2600 мм.

Институтом НИПИ силикатобетон разработан комплект оборудования «Силбетблок» производительностью одной технологической линии 100-150 тыс. м³ ячеистого бетона в год. Используются формы шириной и длиной не более 3 м со съёмной бортооснасткой. Технологическая линия, состоящая из конвейера со стационарными машинами и переключателя бортооснастки, представлена на рисунке 60.

Конвейер представляет собой рольганг или рельсовый путь с толкателем и включает в себя следующие агрегаты: машины для чистки и смазки поддонов, ударную виброплощадку для вибровспучивания ячеистобетонной смеси, агрегат для срезки «горбушки», машины для продольной и поперечной резки массива, систему удаления отходов. Линия оборудована захватами для установки массивов на автоклавную тележку в несколько ярусов,

съёма готовой продукции с автоклавных тележек и укладки её в контейнеры. Управление оборудованием осуществляется с центрального пульта.

Резка массива осуществляется при достижении им пластической прочности 0,015-0,07 МПа.



1 – пост установки поддонов; 2 – пост очистки поддонов; 3 – пост смазки поддонов; 4 – пост установки бортоснастки; 5 – пост заливки смеси и ударного формования массива; 6 – пост поперечного перемещения; 7 – пост съёма бортоснастки; 8 – машина для срезки «горбушки»; 9 – машина поперечной резки; 10 – машина продольной резки; 11 – пост снятия разрезанного массива

Рисунок 60 - Конвейерная линия формования мелких блоков с оборудованием «Силбетблок»

6 Асбестоцементные стеновые изделия

Асбестоцемент – строительный материал, состоящий из волокон асбеста и цементного камня. Соотношение между асбестом и цементом в сухой смеси: 10-20 % асбеста 80-90 % цемента [1]. Таким образом, асбестоцемент представляет собой цементный камень, армированный волокнами асбеста.

Сочетание асбеста и цементного камня в одном материале обусловлено тем, что цементный камень хорошо воспринимает сжимающие нагрузки, в то время как предел прочности при растяжении его составляет лишь 7-8 % предела прочности при сжатии. Волокна асбеста, особенно тонкие диаметром около 30 мкм (распушенные), имеют высокий предел прочности при растяжении. Пронизывая равномерно цементный камень (подобно металлической арматуре в железобетон), асбестовые волокна существенно повышают сопротивляемость цементного камня растягивающим нагрузкам. Для асбестоцемента характерно хорошее сцепление поверхности волокон асбеста с цементным камнем.

Асбестоцемент – очень технологичный материал при изготовлении из него изделий. Асбестоцементная масса обладает высокой пластичностью и позволяет придавать изделиям разнообразную и достаточно сложную форму - плоские и волнистые листы, трубы, экструзионные панели для ограждающих конструкций, подвесных потолков, перегородок.

Асбестоцементные изделия обладают высокой морозостойкостью, атмосферостойкостью и химической стойкостью, которые обеспечивают им необходимую долговечность в ограждающих конструкциях и при эксплуатации труб в различных грунтах.

Основной ассортимент асбестоцементных изделий составляют асбестоцементные листы различных размеров и профилей. Примерно половина кровель в индивидуальном строительстве выполняется из асбестоцементных листов. Как правило, предприятия по производству асбестоцементных изделий работают в непосредственной близости с цементными заводами.

Производство асбестоцементных панелей способом экструзии началось в СССР в конце семидесятых годов на Воскресенском заводе асбестоцементных изделий. Сущность экструзионного способа состоит в том, что асбестоцементную смесь, обладающую определенной пластичностью, подвергают выдавливанию через мундштук. В зависимости от формы мундштука и наличия в нем пустотообразователей (кернов) могут быть получены изделия различного сечения.

6.1 Технология асбестоцементных изделий

Технологическая схема производства асбестоцементных панелей способом экструзии представлена на рисунке 61.



Рисунок 61 – Технологическая схема производства асбестоцементных панелей экструзионным способом

Асбест, доставленный из склада 1 в силосы либо бункера 2, дозируется весовыми дозаторами 3 и загружается транспортером в бегуны 4, в которых осуществляется его первичное распушивание. Вторая стадия распушки проводится в дезинтеграторах 5.

Распушенный асбест накапливается в бункере 6, из которого после весового дозирования 7 поступает в смеситель 10. В тот же смеситель из бункера 8 через дозатор 9 поступает цемент. В этом смесителе получают сухую смесь асбеста и цемента.

Поскольку, в отличие от других способов производства асбестоцементных изделий, экструзионный требует обязательного пластифицирования асбестоцементных смесей, то в данной технологии используется пластификатор. Пластичность асбестоцементных смесей без добавки пластификатора значительно ниже пластичности керамической массы: коэффициент трения асбестоцементной массы без пластификатора – 0,7-0,8, а керамической массы при пластическом способе формования – 0,2-0,3.

Доставленный со склада пластификатор, через дозатор 13 загружается в реактор 14, где готовится его водный раствор, перекачиваемый затем в баки 15 для гомогенизации и созревания.

Пластифицированная асбестоцементная масса готовится в смесителе 16, куда подается шнеком 11 и элеватором 12 сухая асбестоцементная смесь, а также раствор пластификатора. Пластифицированная масса питателем 17 и конвейером 18 непрерывно подается в пресс-экструдер 19.

Сформованный на экструдере полуфабрикат разрезается устройством для резки 20 на панели, которые движутся по приемному рольгангу 21 к укладчику 22. Передаточной тележкой 23 панели подаются в камеру предварительного твердения 24. Затем передаточной тележкой панели подаются на переборщик

25, где отделяются от поддонов, стопируются и направляются по рольгангу 26 на станок 27 для обрезки торцов, а затем укладчиком 28 помещаются на тележки и загружаются в автоклавы 29 при использовании песчанистого цемента либо пропарочные камеры при использовании портландцемента для окончательного твердения.

Панели, прошедшие тепловую обработку, разбираются специальным механизмом 30 и подаются рольгангом 31 на пост укладки утеплителя 32, а с него в контейнеры 33, в которых они хранятся на складе или отправляются потребителю.

6.1.1 Состав и приготовление сырьевых смесей

Используется асбест 5-6 сортов полужесткой текстуры Баженовского месторождения; джетыгаринский не допускается. Содержание асбеста 6 сорта – не более 50 %.

Распушка асбеста на бегунах проводится с добавлением (6 ± 1) % воды. Длительность обработки около 12 минут. Степень распушки – не менее 40 %.

Вторая стадия распушки проводится на дезинтеграторах ЖА-14, имеющих диаметр роторов 900 мм, число оборотов ротора 1800-2000 об/мин. Производительность 2 т/ч. Степень распушки – не ниже 60 %. Из дезинтегратора асбест пневмотранспортом подается в силос через циклон-осадитель.

Пластификатор – метилцеллюлоза марки МЦ-100; представляет собой твердое вещество белого цвета плотностью $1,2-1,31$ г/см³ и насыпной плотностью $0,3-0,5$ г/см³, растворимое в воде. Набухая в воде, метилцеллюлоза увеличивается в объеме в 40 раз. В качестве пластификатора также можно использовать полиэтиленоксид.

Раствор пластификатора приготавливают в реакторе с турбинной мешалкой вместимостью $3,2$ м³. Загрузка реактора порционная мерными бачками воды и весовыми пластификатора. Воду предварительно нагревают до температуры $55-60$ °С. Приготовленный раствор созревает в гомогенизаторе в течение 15 часов при непрерывном перемешивании и охлаждении емкости водой. Температура воды не должна превышать 12 °С, т.к. при температуре $35-36$ °С раствор желатинизируется, что приводит к резкому увеличению вязкости раствора и ухудшению его пластифицирующего действия. Ухудшение пластифицирующих свойств вызывает попадание в раствор метилцеллюлозы щелочных соединений (K_2O , K_2CO_3 , КОН и др.), которые содержатся в цементе.

Используется цемент нормированного минералогического состава. Содержание водорастворимых щелочей в цементе не должно превышать 0,25 %. Снизить содержание щелочей удастся использованием песчанистого цемента, в котором содержание молотого песка достигает (32 ± 3) %, а количество клинкера соответственно понижено. Содержание в клинкере C_3S – не менее 55 %, а C_3A – не более 8 %.

Отвешенная порция распушенного асбеста подается транспортером в работающий смеситель емкостью 2 м³, туда же через 1,5-2 минуты подают порцию цемента с температурой не выше 30 °С. Перемешивание длится 3-5 минут.

Пластифицированная асбестоцементная смесь готовится в бетоносмесителе СБ-93 объемом 1500 л. Пластификатор подается постепенно в течение 1,5-2 минут, в перемешиваемую асбестоцементную смесь, и затем перемешивание продолжается ещё 4 минуты. Корпус смесителя непрерывно охлаждается водой, для того чтобы пластифицированная смесь имела температуру не выше 23 °С.

Из смесителя смесь поступает в ящичный питатель с пластинчатой лентой производительностью 10 т/ч, обеспечивающий непрерывную подачу смеси через ленточный транспортер в пресс.

6.1.2 Формование и послеформовочная обработка изделий

Формование экструзионных панелей производится на пресс-экструдере ШМ-650. Пресс конструктивно подобен ленточному вакуумному прессу для формования керамического кирпича способом пластического формования.

Пресс имеет два основных узла:

1) узел подготовки смеси к формованию, на котором смесь вакуумируется в процессе перемешивания;

2) узел формования.

Узел подготовки имеет двухвальный смеситель, представляющий корытообразный корпус, в котором расположены два лопастных вала, вращающиеся в противоположные стороны. На выходных концах валов установлены непрерывные винтовые лопасти. В корпусе смесителя установлены две решетки, разделяющие его на три части. Через решетки смесь продавливается и выходит в виде жгутов. Каждая секция смесителя соединена с вакуумным насосом шлангом; в секциях создается разрежение не менее 600 мм рт. ст.

Узел формования – ленточный пресс со шнеком диаметром 650 мм, имеющим транспортирующие и прессующие витки. Масса продавливается через переходную головку и мундштук. Размер и форма мундштука соответствуют поперечному сечению выпускаемых изделий. Профиль установленных в мундштуке кернов определяет поперечное сечение полостей в панели. Давление в головке пресса достигает 4,5 МПа. Скорость выхода панели из мундштука – не менее 4 м/мин. Корпус пресса охлаждается водой, циркулирующей в специальной рубашке. Влажность свежесформованной панели – не более 24 %; средняя плотность – не менее 1,45 г/см³.

Выходящая из экструдера панель движется по роликовому конвейеру и разрезается устройством, оборудованным дисковым ножом, на заготовки определенных размеров. Операция выполняется без остановки изделия на конвейере. Отрезанная панель подается на решетчатый поддон, установленный на рольганге. Здесь производится правка панели, устраняются перекосы,

появляющиеся вследствие различия в скоростях выхода разных частей панели из мундштука.

Затем панель проходит предварительную тепловлажностную обработку в течение 6 часов в пропарочной камере при температуре 50-60 °С и относительной влажности среды не менее 80 %. После пропаривания панели снимают с поддона и укладывают в стопы, из них поочередно подаются на станок обрезки торцов; затем снова укладывают на другие поддоны и стопируются на автоклавной тележке.

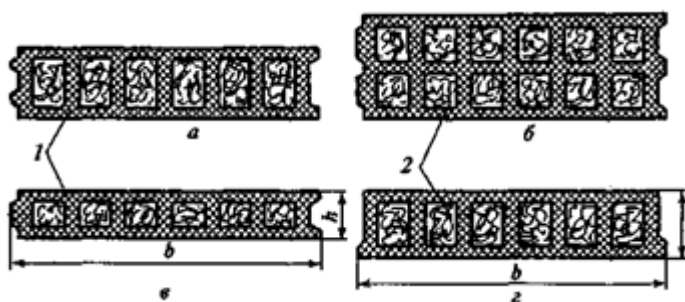
Вторую стадию тепловлажностной обработки панели проходят в автоклавах по режиму: подъем давления до 0,8 МПа – 2 ч; выдержка при давлении 0,8 МПа – 8 ч; сброс давления – 1 ч.

Завершающая операция изготовления панелей – укладка утеплителя из жестких либо полужестких минераловатных плит в полости панелей; осуществляется с помощью специального механизма.

Эксплуатация асбестоцементных экструзионных панелей показала целесообразность их производства с пароизоляцией, а также офактуривания или окрашивания их поверхности.

6.2 Номенклатура асбестоцементных экструзионных панелей

Изделия выпускаются длиной равной 3 либо 6 м, шириной 395 либо 595 мм и толщиной 60, 80, 120, 140, 160 и 180 мм. Изделия толщиной 60, 80 и 120 мм изготавливаются с одним рядом пустот прямоугольного сечения; изделия толщиной 140, 160 и 180 мм изготавливаются с двумя рядами пустот также прямоугольного сечения. Минимальная толщина стенок панелей – 10 мм. Изделия толщиной от 120 до 180 мм используются в качестве стеновых; толщиной от 120 до 140 – в качестве кровельных; толщиной 60-80 мм – для изготовления перегородок и подвесных потолков.



1 — асбестоцемент; 2 — пустоты, заполненные теплоизоляционным материалом

Рисунок 62 - Многупустотные экструзионные асбестоцементные изделия (поперечный разрез): а, б — стеновые панели; в — перегородочная панель; г — кровельная плита;

7 Гипсобетонные блоки

Гипсобетонные блоки (стенные камни) изготавливаются тех же размеров, что и цементобетонные. Могут быть как сплошными, так и пустотелыми. Изготавливают на механизированных станках из жестких гипсобетонных смесей с легкими и плотными заполнителями [3]. Уплотнение производится методом вибропрессования. Прочность составляет 3,5-10 МПа; морозостойкость 10-15 циклов на строительном гипсе и 15-20 циклов – на гипсоцементнопуццолановом вяжущем.

Блоки могут быть изготовлены и методом литья из подвижных смесей, содержащих 60-70 % воды от массы гипса на карусельных установках.

В жестких смесях содержание заполнителей (шлак, известняк) достигает 40 %. Литые формовочные смеси содержат, в процентах по массе, сухих компонентов: гипса - 96, опилки - 3 и добавку, регуливающую сроки схватывания гипса. Размер изделий изготавливаемых на карусельных установках из литых смесей: 800x400x100 мм и 800x400x800 мм.

7.1 Технология

Сырье (гипс строительный, заполнители) доставляются на завод железнодорожным и автомобильным транспортом. Гипс хранят в силосах либо бункерных складах. Транспортирование гипса из приемного бункера в запасной бункер (силос) осуществляется пневмотранспортом или системой шнеков и элеваторов.

Заполнители хранят на закрытых или открытых складах. Заполнители - опилки или песок.

Наряду с основными компонентами используют добавки, которые по функциональному назначению можно разделить на две группы:

1 группа - регулируют сроки схватывания и пластичность гипсового раствора (действие добавок не ограничивается периодом обработки не затвердевших смесей);

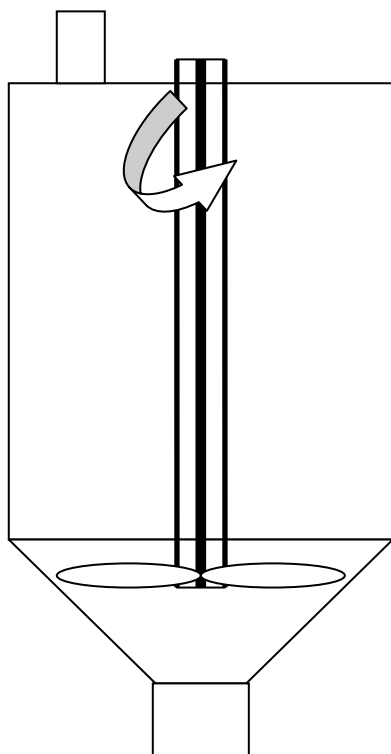
2 группа - изменяют свойства затвердевшего гипса и гипсобетона (это пенообразователи – для пеногипса, гидрофобизаторы – для повышения водостойкости гипсовых изделий).

В качестве ускорителя можно использовать дигидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; замедлители – ПАВ (столярный клей, сульфитный щелок), борная кислота.

7.1.1 Гомогенизация гипсового вяжущего

Гипс характеризуется короткими сроками схватывания вследствие высокой гидравлической активности полугидрата. Наблюдается также различие гидравлической активности полугидрата вследствие адсорбции им паров воды из атмосферного воздуха. Гипсовое вяжущее также отличается пестрым фазовым

составом, что сказывается на однородности его свойств. Для повышения однородности гипса необходима его гомогенизация (усреднение). Гомогенности можно достичь многократным перемешиванием или путем одновременного отбора вяжущего из нескольких запасных силосов.



Лучшие результаты по гомогенизации достигаются при обработке (перемешивании) гипса в барабанных смесителях непрерывного или лучше периодического действия. Пребывание материала в течение 3-6 минут в полости барабана, сопровождающееся его перелопачиванием встроенными в барабан лопастями, достаточно для его гомогенизации. Ввод порошкообразной добавки (дигидрат) целесообразно проводить в гомогенизаторе.

Рисунок 63 – Мешалка с вертикально расположенным валом

7.1.2 Дозирование и перемешивание

Данные операции могут осуществляться по непрерывной или периодической технологической схемам. Используются и соответствующие смесители и дозаторы. Вяжущее и заполнители следует дозировать по массе, а воду и водные растворы добавок - по объему.

Смесители используются различной конструкции, которая определяется подвижностью гипсовой смеси и технологией переработки. При перемешивании литых смесей необходимо турбулентное перемешивание (пропеллерная мешалка), остальные смеси перемешиваются в лопастных мешалках. Вал может быть расположен как вертикально (мешалки цилиндрической формы с коническим дном (рисунок 63), так и горизонтально (корытообразный корпус с загрузочной воронкой расположенной в крышке и разгрузочным патрубком в днище (рисунок 64). Последний, как правило, - смеситель непрерывного действия.

Загрузка гипсовых вяжущих должна проводиться в работающий смеситель, заполненный водой. Подача вяжущего должна производиться

равномерно в течение некоторого времени, для предотвращения комкования гипса.

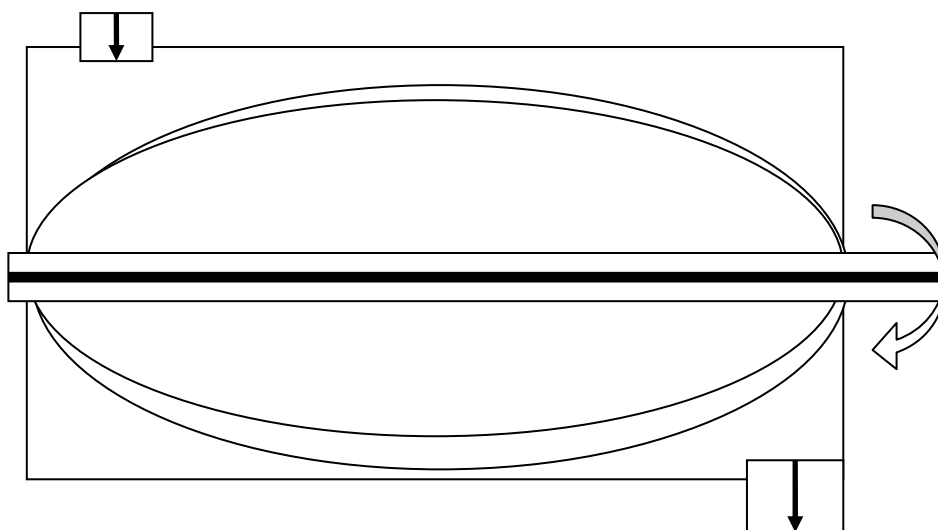


Рисунок 64 – Мешалка с горизонтально расположенным валом

По окончании приготовления гипсовой смеси смеситель необходимо промывать. Промывочная вода подается в отстойник. Воду из отстойника возвращают в технологию. Гипсовый шлам из отстойника удаляется ковшами или землеснарядами.

7.1.3 Формование

Формование может осуществляться как в неподвижные, так и во вращающиеся (циклические) формы. Формы предварительно очищают от остатков гипсобетонной смеси, затем смазывают вручную либо механизированным способом посредством распылителя. Смазка – эмульсия «масло в воде» либо водная эмульсия жиров или воска.

Уложенную смесь уплотняют вибрацией, что способствует удалению пузырьков воздуха.

При изготовлении ряда изделий (плиты) уплотнение проводится способом прессования (давление около 1 МПа). Прессование начинается с момента начала схватывания смеси и длится около 8-10 минут, что соответствует концу схватывания гипса. Подобная технология используется и на прокатных станах; уплотнение проводится валками.

После формования гипсовые изделия должны быть высушены до влажности около 10-12 % в зависимости от вида изделия (сушка естественная или искусственная). В сушилки изделия подаются на вагонетках.

На карусельных машинах изготавливают камни (блоки) размерами 800x400x800 мм из литой формовочной смеси, содержащей 96 % гипса, 3 % древесных опилок и добавку – регулятор сроков схватывания.

На столе карусельной машины располагают 28 форм.

В течение полного оборота стола последовательно совершаются семь технологических операций. Продолжительность оборота соответствует сроку схватывания гипса. Стол вращается периодически: за каждый период стол поворачивается на 1/28 полного оборота.

1 пост – смазка формы;

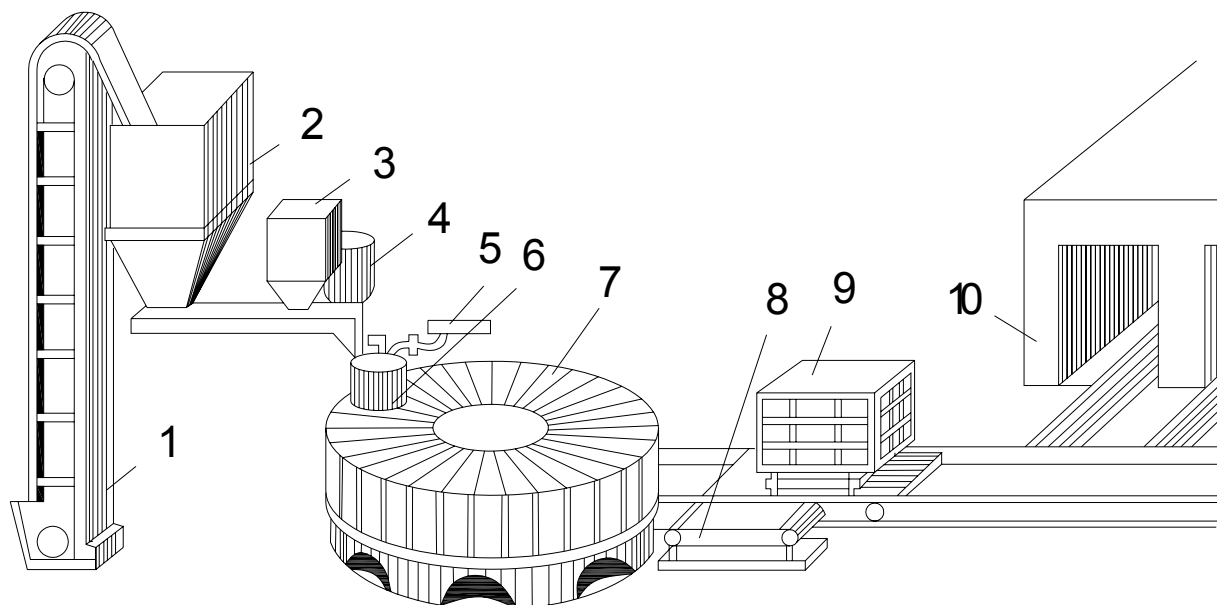
2 пост – подача гипсобетонной смеси;

3 пост - 24 пост – схватывание гипсобетонной смеси;

25, 26, 27 посты – последовательное раскрывание двух боковых и передней дверок формы;

28 пост – выталкивание изделия из формы.

Затем изделие направляют на сушку.



1 – элеватор, 2 – промежуточный бункер, 3 – дозатор гипса, 4 – дозатор опилок, 5 – подача воды, 6 – быстроходный горизонтальный гипсобетоносмеситель, 7 – карусельная формовочная машина, 8 – приемный конвейер, 9 – сушильная вагонетка, 10 – туннельная сушилка

Рисунок 65 – Схема производства плит для перегородок на карусельной машине

8 Грунтобетонные стеновые материалы

Грунтобетоном называют строительный материал (бетон), в качестве связующего в котором используется природный грунт, чаще всего представленный суглинком (содержит 12-25 % частиц менее 0,005 мм – глинистых минералов).

При рытье котлованов под здания и сооружения, при проведении вскрышных работ ежегодно в отвалы на расстояния 25-50 км вывозится более 2 млрд. м³ глинистых грунтов (суглинков, песков, глин, последние содержат более 25 % глинистых частиц), что удорожает стоимость строительства. В то же время известно, что глина, которая содержится в грунтах, обладает вяжущими свойствами (вяжущие коагуляционного твердения). Прочность в сухом состоянии глин различного минералогического состава изменяется от 0,7 до 75 кг/см² (образцы изготовлены из пластичного теста).

Использование глиносырцовых материалов отмечается с давних времен. Они использовались в постройке жилых домов, гражданских зданий, общественного соцкультбыта, сельскохозяйственном строительстве и т.д. В глинобитных домах по данным ЮНЕСКО проживает более 1 млрд. человек. Дома эксплуатируются по 80-100 лет и находятся в хорошем состоянии.

Великая Китайская стена длиной 4 тыс. км и высотой до 10 м, построенная из суглинка в III в до н.э. сохранилась до наших дней. В г. Мары (Туркмения в VI-VIII веках был построен замок Кыр-Кыд, стены которого, сложенные из сырцового кирпича и глинобита, стоят до сих пор.

Почти все одноэтажное строительство в Средней Азии выполнялось из камня и сырцового кирпича. И даже при землетрясении более 80 % из них не разрушилось.

Строительство жилых домов из сырцового кирпича отмечается не только в жарких районах, но и в местах с умеренным и достаточно влажным климатом. В 1878 г. построенные из грунтоблоков дворянские дома и дворец в Приорове (Ленинградская область) простояли без ремонта до 1906 г. В 1950 г. был произведен их осмотр, дома были в хорошем состоянии.

За послевоенные годы было построено более 80 тыс. двухэтажных жилых домов, одноэтажных зданий школ, сельскохозяйственных построек из глинобита и сырцового кирпича. Все они хорошо сохранились.

Интенсивное строительство одно- и двухэтажных домов было организовано в Белоруссии в конце 50-х годов XX века.

Однако строительство сооружений из самана, глинобита характеризуется низкой степенью механизации и большими трудовыми затратами. Поэтому в последние годы интенсивно разрабатываются и внедряются технологии механизированного изготовления грунтобетонных блоков.

Подобная технология разрабатывалась в нашей стране применительно к условиям Краснодарского края. Технология базировалась на использовании грунтобетонных смесей со сравнительно небольшой влажностью при давлении прессования порядка 80 кг/см².

Для повышения прочности и водостойкости изделий в их состав вводили цемент в количестве 10 % от массы грунта. В 28-суточном возрасте прочность образцов достигала 78 кг/см² при использовании в качестве грунта покровного суглинка и добавки 50 % песка для улучшения формовочных свойств смеси.

В настоящее время развиваются технологии, использующие значительно большие давления формования (до 700 кг/см²).

Причем наметилось три направления формования грунтоблоков:

- 1) формование непосредственно из грунтов с отошающими добавками;
- 2) формование из грунтов с отошающими добавками при введении в формовочную смесь некоторого количества цемента (6-10 %) или извести (2%);
- 3) формование блоков из грунтов с отошающими добавками с последующим высокотемпературным обжигом.

При формовании изделий по первой технологии, разрабатываемой преимущественно фирмой «Терраблок» (США), необходима гидроизоляционная защита поверхности изделий (сооружений). Введение добавки цемента либо обжиг отформованных грунтоблоков обеспечивает водостойкость изделий, и необходимость в специальной защите поверхности отпадает.

8.1 Технология грунтоблоков

8.1.1 Основные требования к сырью

Грунт, употребляемый при прессовании блоков, является неоднородным (разнозернистым) материалом, в состав которого в идеальном варианте должно входить 15-35 % глины и 40-70 % песка. Однако наряду с указанными компонентами в состав грунта входят также гравий и пылевидные частицы. Связующими свойствами обладает только глина (глинистые минералы) благодаря наличию водородной связи между слоями алюмо-кремнекислородных комплексов. Обменные реакции между катионами H^+ , K^+ , Na^+ , находящимися в межслоевом пространстве глинистых минералов, и Ca^{2+} усиливают прочность связи между слоями и, в целом, в глине. Ионы Ca^{2+} находятся в воде затворения (в физической воде).

Лучшими являются глины, содержащие монтмориллонит (обладает высокой адсорбционной способностью, в том числе и по Ca^{2+}), худшими – каолинит.

Соотношение между компонентами грунта отражено в таблице 18. Состав идеального грунта отражен в таблице 19.

Содержание органических примесей не должно превышать 3 %.

В качестве заполнителей (песок, гравий) целесообразно использовать промышленные отходы: пустые породы железорудных и каменноугольных месторождений, отходы разработки и переработки строительного камня и мрамора, отходы промывания речных песков, доменные шлаки, отработанные формовочные пески.

Таблица 18 - Соотношение между компонентами грунта

Наименование компонента	Содержание, %	Размер частиц, мм
Песок (гравий)	55-75	5-0,08
пыль	10-28	0,08-0,002
глина	15-18	Менее 0,002

Таблица 19 – Состав и размеры частиц компонентов идеального грунта

Наименование	Содержание, %	Размер частиц, мм
Глина	15	Менее 0,002
Пыль (ил)	25	0,08-0,002
Песок мелкозернистый	15	1,25-0,08
Песок крупнозернистый	25	5-1,25
Гравий	20	До 6

При отклонении состава грунта от указанных требований возможны следующие негативные факторы:

- грунт содержит слишком много глины. В этом случае при прессовании и сушке блоков образуются трещины.

- грунт содержит слишком много песка. В этом случае отдельные частицы песка недостаточно связаны друг с другом, что снижает прочность блока и может привести к его разрушению.

- грунт содержит много органических примесей. С течением времени органические примеси начинают разлагаться, что приводит к нестабильности материала блоков, пористости и недолговечности их в эксплуатации.

8.1.2 Стабилизация грунта

Под ней понимается повышение водостойкости грунтобетона. Этого достигают введением стабилизирующих добавок, которые совместно с глиной способны создавать внутренний скелет, способный противостоять изменениям объема глины и адсорбции ею воды.

Стабилизация достигается введением двух основных стабилизирующих веществ:

- 1) цемент;
- 2) известь; может использоваться как гашеная, так и негашеная (кипелка).

Цемент должен быть хорошо перемешан с грунтом и не содержать комков. Твердение изделия с добавкой цемента должно проходить в условиях, позволяющих ему набирать прочность, т.е. во влажных условиях. Предпочтительно использование портландцемента или шлакопортландцемента марки 300.

Известь не только принимает участие в ионно-обменных процессах в структуре глинистых минералов, но и снижает толщину водных оболочек мицелл глинистых минералов, тем самым, улучшая формовочные свойства грунтов, а также взаимодействует с тонкодисперсным пылевидным кремнеземом, присутствующим в грунтах, образуя гидросиликаты кальция и упрочняя грунтобетон. Известки вводят около 6 % (4-6 % кипелки или 4-8 % гашеной).

Грунтоблоки с добавкой цемента выдерживают перед использованием в течение 3-4 суток во влажных условиях, а с известью – в течение 10-15 суток.

8.1.3 Технологическая схема

Склад грунта. Рекомендуется располагать под крышей. Должен вмещать запас сырья для восьмидневной двухсменной работы. Склад должен быть оборудован секциями для обеспечения приемлемой влажности грунта в дождливую погоду.

Склад цемента. Размещается под крышей. Должен вмещать запас сырья для восьмидневной двухсменной работы. Оптимальна установка силоса.

Резервуар для воды. Емкостью 100 л.

При работе с грунтом во время дождей или в других случаях, когда грунты имеют повышенную влажность, землю необходимо:

- выдерживать под навесом не менее 8 суток перед просеиванием;
- за несколько часов до просеивания добавить гашеной известки, количество которой пропорционально влажности грунта (обычно достаточно 3 % известки в случае очень влажной земли).

Если и при этом земля будет чрезмерно влажной, то избыток ее отожмется при прессовании. Технологическая схема производства грунтобетонных изделий представлена на рисунке 65.

Грунт и, при необходимости, заполнители загружаются на решетку предварительного отсева, расположенную на приемном бункере № 1, а затем конвейером направляются для отсева на грохот. Зерна размером более 6 мм с наклонного сита по отводному лотку направляются в дробилку и, после измельчения, конвейером вновь направляются в приемный бункер № 1 под решетку предварительного отсева. Таким образом, весь материал, прошедший через решётку предварительного отсева, попадает в бункер № 2.

Просеянный грунт с грохота загружается в бункер № 2 а из него порционным дозатором подается в смеситель. В смеситель также загружается определенное количество цемента. После определенного времени перемешивания грунта с цементом производится увлажнение смеси посредством распылительной системы и спустя некоторое время процесс перемешивания завершается. Затем барабан смесителя переворачивается и готовая смесь выгружается в бункер готовой смеси.

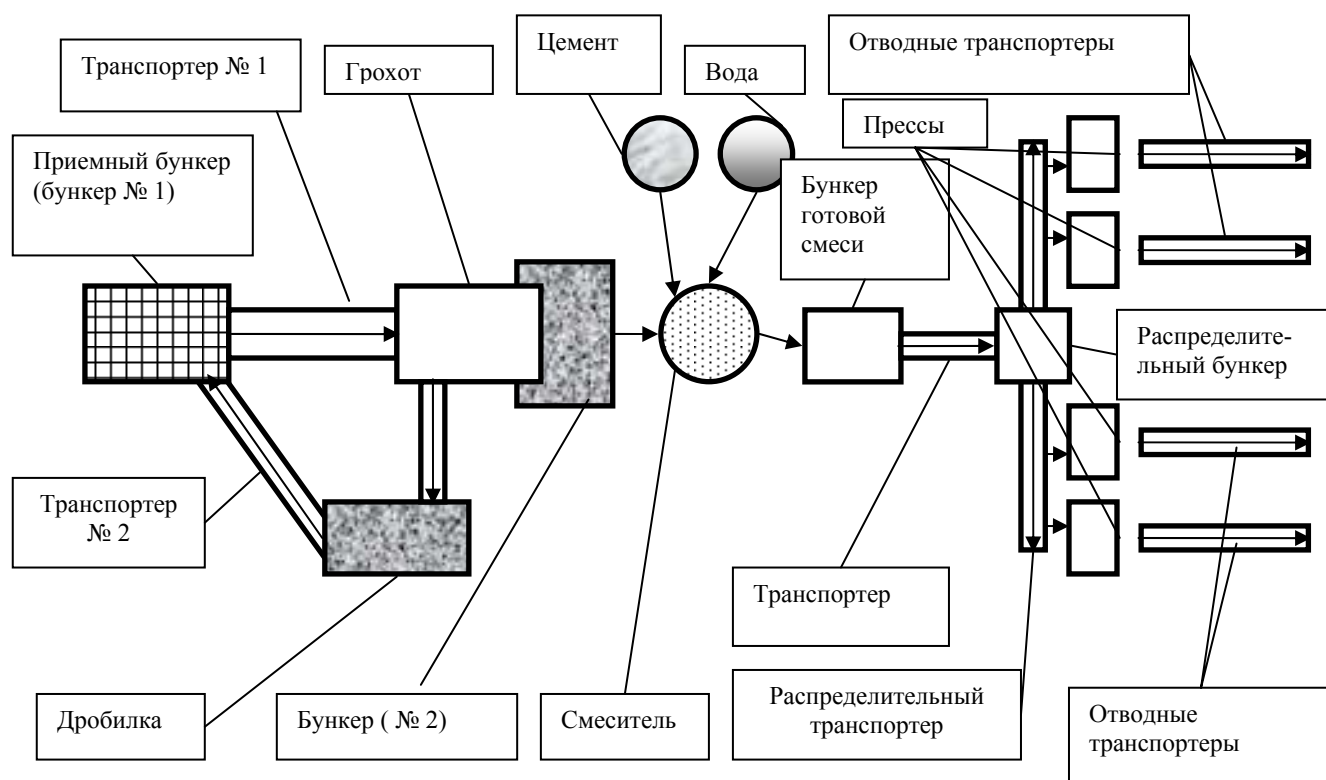


Рисунок 66 - Технологическая схема производства грунтобетонных изделий

Конструкция смесителя представлена на рисунке 66. Смеситель представляет собой вращающийся чан с децентрированной системой лопастей, вращающихся в противоположную вращению чана сторону. Среднее время приготовления смеси 4 минуты. Сначала в течение 1 мин. 30 с проводится сухое перемешивание компонентов, затем в течение 40 с распыляется вода, около 5 л, и увлажненная смесь перемешивается еще 40 с. Затем в течение 40 с производится выгрузка смеси в бункер. Емкость смесителя – 0,36 м³; количество готовой смеси – 360 кг.

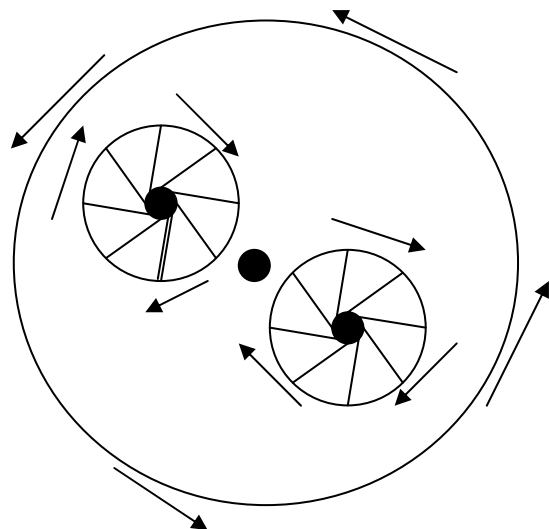


Рисунок 67 – Принципиальная схема смесительной установки

Из бункера смесь транспортером подается в бункер распределительных транспортеров, которые в свою очередь направляют смесь в бункера прессов. Все бункера оборудованы датчиками уровня материалов; работа загрузочных транспортеров синхронизирована с ними и по мере заполнения бункеров материалом транспортеры отключаются. Непрерывность работы системы обеспечивается соответствующей настройкой скоростей транспортёров.

Прессование изделий осуществляется на прессах-роботах полусухого прессования производительностью 550 штук сплошного кирпича, 520 штук семищелевого пустотелого кирпича в час. Производительность одного пресса – 2,7 т/ч или 2 м³/ч грунта. Пресс гидравлический двойного сжатия. Производительность комплекса - 2200 штук/ч (4 работающих пресса); давление прессования - 680 кг/см².

На ПО «Гидропресс» г. Оренбурга разработан и изготовлен пресс, рассчитанный на изготовление широкой номенклатуры изделий как по составам формовочных смесей, так и по их типоразмерам.

Закономерности формования те же, что и кирпича керамического при его производстве способом полусухого прессования. Но при добавлении в формовочную смесь цемента либо извести происходит отделение в процессе формования избыточной воды и не наблюдается образования трещин.

Перед использованием изделий они должны пройти цикл предварительного твердения; исключение составляют блоки, отформованные на дуплексной системе «Терраблок» непосредственно из грунта, без стабилизирующих добавок – цемента либо извести. В последнем случае изделия формуют из грунта непосредственно на месте возведения сооружения и сразу же используют в кладке. В этом случае отпадает необходимость скрепления блоков между собой посредством кладочного раствора. Твердение блоков с добавкой цемента должно протекать в условиях достаточной влажности и температуры.

Для омоноличивания кладки цементный раствор заливается в щели, сформованные в теле блока в процессе формования.

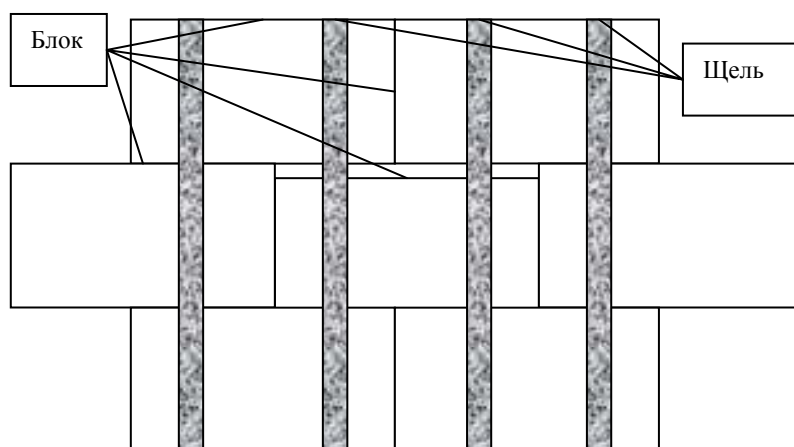


Рисунок 68 – Схема омоноличивания кладки

8.1.4 Технические характеристики изделий, выпускаемых по технологии фирмы «Ситадоб»

Изделия могут выпускаться разнообразных размеров и форм, как сплошными, так и щелевыми.

Кирпич сплошной или пустотелый:

- Интернациональный формат – 24x11,5 см;
- Французский формат – 22x10,5 см;
- Советский формат – 25x12 см;
- Декоративный формат – 24x11,5 см.

Толщина кирпича варьируется от 3 до 6,5 см. Пустотелый кирпич выпускается с 2, 5, 7 щелями.

Брусчатка обыкновенная:

Размеры – 25x12 см, 22x10,5 см, 20x10 см, 10x10 см.

Высота изменяется от 4 до 6 см.

Плитка:

Квадратная – 10x10 см, прямоугольная – 20x10 см, 24x11,5 см, 22x10,5 см, 25x12 см. Толщина плитки варьируется от 1,6 до 2,4 см.

Характеристики сплошного кирпича

Стандартные размеры – 25x12x6,5 см (допускается отклонение менее 1 мм). Предел прочности при сжатии – 200 кгс/см². Предел прочности при изгибе – 30-40 кгс/см². Водопоглощение - не более 0,5 %. Морозостойкость – 30-50 циклов. Теплопроводность – 0,75-0,9. Масса кирпича при выходе из пресса – 4,8 кг, через три дня – 4,725 кг. Объем кирпича – 1,95 дм³. Средняя плотность – 2,40-2,45 г/см³.

Состав:

Просеянный грунт	-	91,2 % (4,38 кг)
Цемент М 200	-	7,1 % (0,34 кг)
Вода (включая влагу грунта)	-	1,7 % (0,08 кг)

9 Стеновые изделия из бетона

Изделия изготавливают из цементного бетона (бетон – искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего вещества с водой, мелкого и крупного заполнителей, взятых в определенных пропорциях; до затвердевания эта смесь называется бетонной смесью.)

Из бетона выпускают крупные стеновые изделия – панели наружных и внутренних стен, перегородки, стеновые блоки, – а также мелкогабаритные изделия – стеновые камни. Последние выпускаются согласно ГОСТ 6133– 99 [20]; основной размер камней 390х190х188 мм.

Изделия выпускаются пустотелые и сплошные, из легких и тяжелых бетонов. Масса камней не должна превышать 31 кг.

Марки камней определяются пределом прочности при сжатии непосредственно самих камней. Прочность камней ниже, чем контрольных образцов, изготовленных из той же самой бетонной смеси.

В качестве вяжущего используют портландцемент, гипс, шлаковое и известково-кремнеземистое вяжущее. Условное обозначение изделий на этих вяжущих: СКЦ, СКГ, СКШ, СКИ. Последняя буква в обозначении указывает вид вяжущего. Морозостойкость по ГОСТ 7025-91 [21] должна быть не ниже 15 циклов и может достигать 50 циклов.

Марка камней по прочности назначается в соответствии с ГОСТ 8462-85 [22] и составляет для камней рядовых – 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, а для лицевых – не ниже 75. Возможно определение марки камней по прочности контрольных кубов по ГОСТ 10180-90 [37]. Но при этом необходимо производить пересчет прочности на камни натуральных размеров с учетом масштабного фактора, определяемого экспериментально.

Изготовление стеновых камней может осуществляться на установках различной конструкции и степени сложности: от примитивной решетки уложенной на термоподдон, в ячейки которой загружается бетонная смесь и уплотняется вручную либо глубинным вибратором, до высокоавтоматизированной установки.

Стеновые камни наиболее рационально изготавливать из жестких бетонных смесей, позволяющих производить немедленную распалубку свежесформованных изделий. Камни изготавливают без армирования, что существенно при нынешнем дефиците арматуры и ее высокой стоимости.

Установки по формированию могут быть как в составе завода сборного железобетона, так и в составе специализированного завода по производству стеновых камней.

При размещении установки в составе завода сборного железобетона приготовление бетонной смеси осуществляется централизованно (на бетоносмесительных узлах) и к месту формирования доставляется обычно автотранспортом. Такая схема может быть принята и на специализированных заводах.

В ряде случаев бетоносмеситель входит в состав непосредственно самой установки (формовочный комплекс «Рифей»). Установки могут быть стационарными или передвижными.

Поскольку формирование камней осуществляется из жестких бетонных смесей, то уплотнение смесей осуществляется вибрированием с пригрузом. Удельное давление, оказываемое пригрузом на бетонную смесь, должно составлять 10 – 50 г/см².

Для формирования используют легкие либо тяжелые бетонные смеси. Для наружных стен отапливаемых помещений следует использовать легкобетонные смеси. Из тяжелого бетона формируют камни для внутренних стен, садовых домиков, гаражей и т. п. Из этих бетонных смесей и по подобной технологии можно формировать плиты для мощения дорог.

В производстве камней широко используются отходы промышленных предприятий.

10 Арболит

Арболит – разновидность легкого бетона. Требования к нему излагаются в ГОСТ 19222-84 [30]. Изготавливают из органических целлюлозных заполнителей растительного происхождения.

Предназначен для строительства малоэтажных зданий. Допускается применять арболит в стенах зданий с относительной влажностью воздуха помещений более 60 % и наличии слабо- и среднеагрессивных газовых сред.

Сырье: костра льна и конопли, стебли хлопчатника, рисовая солома и древесина.

Средняя плотность арболита – 400-850 кг/м³:

- теплоизоляционный – 400-500 кг/м³;
- конструкционный – 500 – 850 кг/м³.

По структуре изделия из арболита подразделяют на:

- обычные;
- поризованные.

По теплоизоляционным показателям арболит превосходит керамзитобетон в 3 – 4 раза, кирпич – в 6 – 8 раз. Для обогрева помещений со стенами из арболита толщиной 20 см требуется в два раза меньше энергоносителей, чем для помещений со стенами из кирпича толщиной 50 см (два кирпича). По теплотехническим показателям арболит превосходит большинство традиционных строительных материалов.

По армированию изделия из арболита подразделяют на:

- армированные;
- неармированные.

По количеству слоев изделия:

- однослойные;
- многослойные.

По пределу прочности на сжатие арболит подразделяется на классы:

- теплоизоляционный – В0,35; В0,5; В1 или марки М5, М10, М15;
- конструкционные – В1,5; В2,0; В2,5; В3,5 или марки М25, М35, М50.

Масса здания при использовании изделий из арболита снижается в 1,3 – 1,5 раза.

Технология производства изделий из арболита включает в себя следующие операции:

- подготовка заполнителей. Включает в себя дробление, подготовку по гранулометрическому составу (поперечный размер частиц - 3-6 мм, длина - 25-30 мм), замачивание заполнителя до влажности 30-40 %. При продолжительности замачивания около 6 часов достаточно полно извлекаются легкогидролизуемые вещества;
- дозирование - объемно-весовое с учетом насыпной плотности;
- формование - в стальных формах с прессованием роликами;
- твердение (при температуре 40-50 °С и относительной влажности 70-80 % после 7-14 дней предварительного твердения).

11 Камни стеновые из горных пород

Данные изделия выпускаются в соответствии с техническими условиями на отдельные виды изделий и по ГОСТ 4001-84 [17].

Распространяется на пиленные стеновые камни из горных пород. Изготавливают в виде прямоугольного параллелепипеда.

Полномерные камни имеют размеры, в мм: 390x190x188; 490x240x188; 390x190x288; неполномерные камни - 292x190x188 и т.д.

Назначение:

- рядовые;
- лицевые.

По прочности при сжатии, в кг/см², камни подразделяются на марки: 4, 7, 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400.

Маркировка: I Л 35 по ГОСТ 4001-84.

Технические требования:

- средняя плотность – не более 2100 кг/м³;
- водопоглощение, % по массе, не более:
 - для туфов и опок – 50;
 - для известняка и других пород – 30;
- морозостойкость - не менее 15 циклов (потеря прочности после испытания – не более 25 % от начальной);
- коэффициент размягчения – не менее 0,6.

Список использованных источников

1. Берней, И.И. Технология асбестоцементных изделий: учеб. для вузов / И.И. Берней, В.М. Колбасов. – М.: Стройиздат, 1985. – 400 с., ил.
2. Бутт, Ю.М. Общая технология силикатов: учебник / Ю.М. Бутт, Г.Н. Дудеров, М.А. Матвеев – М.: Стройиздат, 1976. – 600 с., ил.
3. Горбовец, М.Н. Изготовление гипсобетонных изделий: учебник для проф.-техн. училищ/ М.Н.Горбовец. – М.: Высш. Школа, 1981. – 176 с., ил.
4. Завадский, В.Ф. Производство стеновых материалов и изделий : учеб. пособие/ В.Ф. Завадский, А.Ф. Косач. – Новосибирск: НГАСУ, 2001. - 168 с., ил.
5. Зейфман, М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов / М.И. Зейфман. – М.: Стройиздат, 1990. – 184 с.: ил. – ISBN 5-274-01022-9.
6. Зорохович, В.С. Производство кирпича// Комплексная механизация и автоматизация / В.С. Зорохович, Э.Д. Шукуров. - Л.: Стройиздат. Ленингр. отделение. 1988. – 232 с., ил. – ISBN 5-274-00097-5.
7. Ильевич, А.П. Машины и оборудование предприятий по производству керамики и огнеупоров: учеб. для вузов / А.П. Ильевич. – 2-е изд., перераб. М.: Высш. Школа, 1979. – 344 с., ил.
8. Надеин, А.А. Механизация и автоматизация транспортных операций на предприятиях строительной керамики : учеб. пособие / А.А. Надеин. – Новосибирск: НГАСУ, 2001. - 160 с., ил. – ISBN 5-7795-0111-4.
9. Неницеску, К. Общая химия: учебник / К. Неницеску. – М.: Изд-во «Мир», 1968. – С. 477-480, ил.
10. Перегудов, В.В. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей: учебник / В.В. Перегудов, М.И. Роговой. – М.: Стройиздат, 1983. – 416 с., ил.
11. Роговой, М.И. Теплотехническое оборудование керамических заводов: учебник для техникумов/ М.И. Роговой. – М.: Стройиздат, 1983. – 367 с., ил.
12. Роговой, М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики: учебник / М.И. Роговой. – М.: Стройиздат, 1974. – 315 с.: ил.
13. Хавкин, Л.М. Технология силикатного кирпича / Л.М. Хавкин. – М.: Стройиздат, 1982. – 384 с., ил.
14. **ГОСТ 379-95.** Кирпич и камни силикатные. Технические условия. Взамен ГОСТ 379-79. Введ. 1996–07–01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).
15. **ГОСТ 530-2007.** Кирпич и камни керамические. Технические условия. Взамен ГОСТ 530-95, ГОСТ 7484-78. Введ. 2008-03-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный

университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

16. **ГОСТ 3476-74** Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов. Технические условия. Взамен ГОСТ 3476-60. Введ. 1975-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

17. **ГОСТ 4001-84** Камни стеновые из горных пород. Технические условия. Взамен ГОСТ 4001-77. Введ. 1985–07–01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

18. **ГОСТ 5742-76** Изделия из ячеистого бетона теплоизоляционные. Взамен ГОСТ 5742-61. Введ. 1977-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

19. **ГОСТ 5494-95** Пудра алюминиевая. Технические условия. Взамен ГОСТ 5494-71. Введ. 1997-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

20. **ГОСТ 6133-99** Камни бетонные стеновые. Технические условия. Взамен ГОСТ 6133-84. Введ. 2002-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

21. **ГОСТ 7025-91** Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. Взамен ГОСТ 7025-78, ГОСТ 6427-75. Введ. 1991-07-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

22. **ГОСТ 8462-85** Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. Взамен ГОСТ 8462-75. Введ. 1985-07-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

23. **ГОСТ 8736-93** Песок для строительных работ. Технические условия. Взамен ГОСТ 8736-85, ГОСТ 26193-84. Введ. 1995-07-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

24. **ГОСТ 9169-75** Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация. Взамен ГОСТ 9169-59. Введ. 1976-07-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

25. **ГОСТ 9179-77** Известь строительная. Технические условия. Взамен ГОСТ 9170-70. Введ. 1979-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

26. **ГОСТ 10178-85** (СТ СЭВ 5683-86). Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. Взамен ГОСТ 10178-76. Введ. 1987-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

27. **ГОСТ 11024-84** Панели стеновые наружные бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия. Взамен ГОСТ 11024-72, ГОСТ 17078-71, ГОСТ 11118-73. Введен 1985-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

28. **ГОСТ 11118-73** Панели из автоклавных ячеистых бетонов для наружных стен зданий. Взамен ГОСТ 11118-65, ГОСТ 11690-66. . Введ. 1974-04-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

29. **ГОСТ 12504-80** Панели стеновые внутренние бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия. Введен впервые. Введ. 1982-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

30. **ГОСТ 19222-84** Арболит и изделия из него. Общие технические условия. Взамен ГОСТ 19222-73. Введ. 1985-01-01. [Электронный ресурс]:

приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

31. **ГОСТ 19570-74** Панели из автоклавного ячеистого бетона для внутренних несущих стен, перегородок и перекрытий жилых и общественных зданий. Технические требования. Введен 1974-07-01[Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

32. **ГОСТ 21520** Блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие. Технические условия. Взамен ГОСТ 21520-76. Введ. 1990-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

33. **ГОСТ 23732-79** Вода для бетонов и растворов. Технические условия. Введен впервые. Введен 1980-01-01[Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

34. **ГОСТ 25485-89** Бетоны ячеистые. Технические условия. Взамен ГОСТ 25485-83, ГОСТ 12852.3-77, ГОСТ 12852.4-77. Введ. 1990-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

35. **ГОСТ 26254-84** Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Введен впервые. Введ. 1985-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

36. **ГОСТ 27006-86** Бетоны. Правила подбора состава. Введен впервые. Введ. 1987-01-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

37. **СН 277-80** Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).

38. **СНиП II-3-79*** Строительная теплотехника. Введ. 1979-07-01. [Электронный ресурс]: приложение КОДЕКС версия 5.1.1.19 (32 bit) / ООО «Альфа Кодекс» - Электронные данные. – Оренбург: ГОУ Оренбургский государственный университет, 2008. – Мастер-версия: False. Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант).