

*Л.А. Виноградова*

**Художественное материаловедение вяжущих веществ  
и технология изготовления декоративно-отделочных  
материалов на их основе**

*Учебное пособие*



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Ивановский государственный химико-технологический университет

Л.А. Виноградова

**Художественное материаловедение вяжущих веществ  
и технология изготовления декоративно-отделочных  
материалов на их основе**

Учебное пособие

Иваново 2018

УДК 666.9:745.5:691.5(07)

ББК 35.45:30.18я7

## **Виноградова, Л.А.**

Художественное материаловедение вяжущих веществ и технология изготовления декоративно-отделочных материалов на их основе: учеб. пособие / Л.А. Виноградова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2018. – 173 с.

В учебном пособии подробно раскрыты теоретические и материаловедческие основы вяжущих веществ, а именно классификация, их гидратация и твердение, свойства и области применения. В пособии детально описаны различные технологии изготовления моделей, гипсовых форм, сграффито, декоративной штукатурки и искусственного мрамора с рассмотрением их особенностей, классификаций, возможных материалов и составов.

Учебное пособие предназначено студентам 3 и 4 курсов дневного отделения по направлению «Технология художественной обработки материалов», а также по направлениям «Химическая технология» (профиль «Технология керамики и стекла»), «Материаловедение и технологии материалов». Кроме того, пособие может быть полезно инженерно-техническим работникам, преподавателям, обучающимся, профессиональные интересы которых связаны с такой производственной сферой, как строительство, архитектура, дизайн и декор.

Табл. 15. Ил. 59. Библиогр.: 38 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

кафедра естественно-научных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России;  
начальник производства ООО «ПКФ Технология» Е.Е. Березин

© Виноградова Л.А., 2018

© ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВАХ.....	8
2. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	12
2.1. Классификация гипсовых вяжущих и области их применения.....	13
2.2. Физико-химические основы процесса дегидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .....	17
2.3. Строительный гипс.....	21
2.4. Формовочный гипс.....	22
2.5. Высокообжиговые гипсовые вяжущие.....	24
2.6. Твердение гипсовых вяжущих веществ.....	25
2.7. Свойства гипсовых вяжущих веществ.....	28
2.8. Вопросы для самоконтроля.....	33
3. МОДЕЛИ И ГИПСОВЫЕ ФОРМЫ.....	34
3.1. Модели и их виды.....	34
3.2. Подготовка моделей к формовке.....	35
3.3. Виды гипсовых форм и требования к ним.....	36
3.4. Черновые формы.....	38
3.4.1. Простые черновые формы.....	39
3.4.2. Сложные черновые формы.....	41
3.5. Чистые или кусковые формы.....	46
3.5.1. Простые чистые формы.....	47
3.5.2. Сложные чистые формы.....	49
3.6. Получистые формы.....	56
3.7. Вопросы для самоконтроля.....	57
4. ИЗВЕСТКОВЫЕ И МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	58
4.1. Классификация известковых вяжущих веществ.....	59
4.2. Физико-химические основы процесса диссоциации $\text{CaCO}_3$ .....	62
4.3. Физико-химические основы гидратации воздушной извести.....	66
4.4. Физико-химические основы твердения извести.....	70
4.5. Свойства воздушной извести.....	72
4.6. Гидравлическая известь.....	76
4.7. Магнезиальные вяжущие вещества.....	77
4.8. Вопросы для самоконтроля.....	81
5. ЖИВОПИСЬ СГРАФФИТО.....	82

5.1. Основные слои и разновидности сграффито .....	82
5.2. Материалы и составы слоев для сграффито и их приготовление.....	85
5.3. Подготовка поверхности под сграффито .....	89
5.4. Способы нанесения сграффито на поверхность .....	90
5.5. Вопросы для самоконтроля.....	94
6. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ.....	95
6.1. Классификации портландцемента.....	96
6.2. Химический и минералогический состав цемента.....	97
6.3. Гидратация и твердение портландцемента .....	100
6.4. Свойства портландцемента .....	103
6.5. Декоративный портландцемент.....	106
6.6. Вопросы для самоконтроля.....	110
7. ДЕКОРАТИВНАЯ ШТУКАТУРКА.....	111
7.1. Основные сведения о декоративной штукатурке .....	112
7.2. Классификация декоративных штукатурок .....	114
7.3. Базовые составляющие декоративных штукатурок .....	121
7.4. Подготовка поверхности для нанесения декоративных слоев.....	124
7.5. Технологии нанесения декоративной штукатурки.....	125
7.5.1. <i>Выполнение терразитового покрытия .....</i>	<i>126</i>
7.5.2. <i>Выполнение каменной штукатурки.....</i>	<i>128</i>
7.5.3. <i>Изготовление структурного покрытия.....</i>	<i>131</i>
7.5.4. <i>Выполнение фактурной штукатурки.....</i>	<i>134</i>
7.5.5. <i>Выполнение венецианской штукатурки.....</i>	<i>136</i>
7.5.6. <i>Объемная штукатурка .....</i>	<i>137</i>
7.6. Дефекты декоративного покрытия.....	139
7.7. Вопросы для самоконтроля.....	140
8. БЕТОН .....	141
8.1. Классификации бетонов .....	141
8.2. Материалы для производства бетона.....	144
8.3. Основные свойства бетонной смеси и бетона.....	149
8.4. Вопросы для самоконтроля.....	153
9. ИСКУССТВЕННЫЙ МРАМОР .....	154
9.1. Основные сведения об искусственном мраморе и его виды.....	154
9.2. Оселковый мрамор.....	156
9.2.1. <i>Насыпной способ.....</i>	<i>157</i>

9.2.2. Способ под лопатку.....	160
9.3. Утюжный мрамор.....	161
9.4. Литьевого мрамор.....	163
9.5. Вопросы для самоконтроля.....	165
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	166
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	170

*Художник подает великий пример. Он страстно любит свою профессию: самая высшая награда для него – радость творчества. К сожалению, в наше время многие презирают, ненавидят свою работу. Но мир будет счастлив только тогда, когда у каждого человека будет душа художника, иначе говоря, когда каждый будет находить радость в своем труде.*

Огюст Роден

## **ВВЕДЕНИЕ**

Многообразие выпускаемых промышленностью декоративно-отделочных материалов и изделий на основе вяжущих веществ создает все условия для улучшения художественных характеристик современной архитектуры и дизайна любых помещений, а также развития творческой инициативы. В то же время профессия художника-технолога – это творческий труд, требующий живой фантазии, вдохновения и владения разнообразными техниками и технологиями применения различных материалов. В связи с этим художник-технолог и дизайнер должны уметь хорошо разбираться в обширной номенклатуре этой продукции, подбирать для конкретных условий применения наиболее эффективные и подходящие ее виды с учетом качественных показателей. Они также должны владеть знаниями в области технологии декоративно-отделочных материалов на основе вяжущих веществ, иметь представления о физико-химической сущности процессов переработки исходного сырья в готовый продукт, их гидратации и твердения.

При написании учебного пособия автор ставил своей целью открыть мир вяжущих веществ, на основе которых можно изготавливать разнообразные декоративно-художественные изделия, и показать чрезвычайно увлекательную область знаний о данных материалах. Кроме того, глубокое изучение связи между составом, строением и свойствами материала, описанное в пособии, дает возможность научиться оценивать качество материалов, находить возможные пути регулирования и управления свойствами и уметь определять области рационального применения их на практике в строительстве, архитектуре и дизайне.

Для составления представлений по основным разделам художественного материаловедения вяжущих веществ, а особенно по технологии изготовления декоративно-художественных материалов и изделий на их основе возникла необходимость в разработке учебного пособия, способствующего гра-

мотному применению и использованию полученных сведений на практике.

Новизна данного пособия заключается в детальном раскрытии вопросов технологии изготовления декоративно-отделочных материалов и изделий на их основе; рассмотрении видов и свойств декоративных вяжущих материалов, методов их получения для наиболее эффективного использования в декоре.

Уникальность данного пособия в том, что оно сочетает в себе основные представления о вяжущих веществах и декоративно-художественных материалах и изделиях на их основе с технологией изготовления последних, а также подробное описание методики получения гипсовых форм и техник нанесения сграффито и декоративных покрытий. Еще одной особенностью является способность оценить художественную совместимость различных материалов в составе декоративных изделий.

Благодаря подробному раскрытию в пособии основных сведений о вяжущих веществах и технологии изготовления декоративно-отделочных материалов и изделий на их основе, у обучающегося сформируются необходимые знания, и в дальнейшем эти навыки он сможет развить и эффективно применить на практике в своей самостоятельной деятельности по созданию художественных материалов и изделий на основе вяжущих.

*Автор выражает глубокую признательность Виноградову Дмитрию Геннадьевичу за огромную поддержку и помощь в работе и оформлении рукописи данного учебного пособия к изданию.*

*Я еще ничего не могу, зато я умею учиться.*  
Микеланджело Буонарроти

## **1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВАХ**

Приступая к изучению различных вяжущих веществ, необходимо знать их основные понятия и классификацию.

***Вяжущее вещество*** – это тонкодисперсный порошкообразный материал, который при смешении с жидкостью затворения образует пластичное удобоукладываемое тесто, постепенно затвердевающее и переходящее в прочное, камневидное тело или цементный камень.

***Жидкость затворения*** – это жидкость на основе воды, водных растворов солей, кислот или щелочей.

***Затворение*** – это процесс смешения порошка вяжущего с жидкостью затворения.

***Вяжущее (цементное) тесто*** – это пластично-вязкая удобоукладываемая масса, получаемая при тщательном смешении порошка вяжущего с жидкостью затворения.

***Цементный камень*** – это прочное отвердевшее вяжущее (цементное) тесто.

***Новообразования*** – это первые частицы новой твердой кристаллической фазы, появляющиеся в результате химических реакций между вяжущим веществом и жидкостью затворения и нарушающие однородность структуры, полученной в результате твердения.

***Вяжущая система*** – это система, состоящая из дисперсной фазы – порошкообразного компонента и дисперсной среды – жидкости затворения, и проявляющая вяжущие свойства.

Самым важным и главным процессом вяжущих веществ является гидратация и твердение, в котором можно выделить несколько стадий, представленных на рис. 1.1. Так, в результате затворения вяжущего вещества жидкостью вначале образуется вяжущее (цементное) тесто, которому в процессе формования можно придать определенную форму и размеры. Далее начинается период схватывания, т.е. частичная, а затем и полная потеря подвижности, соответствующая началу и концу процесса с разными состояниями вяжущей системы. Также на данной стадии происходит появление и раз-

растание новообразований, т.е. формирование межчастичных контактов различного типа и прочности.

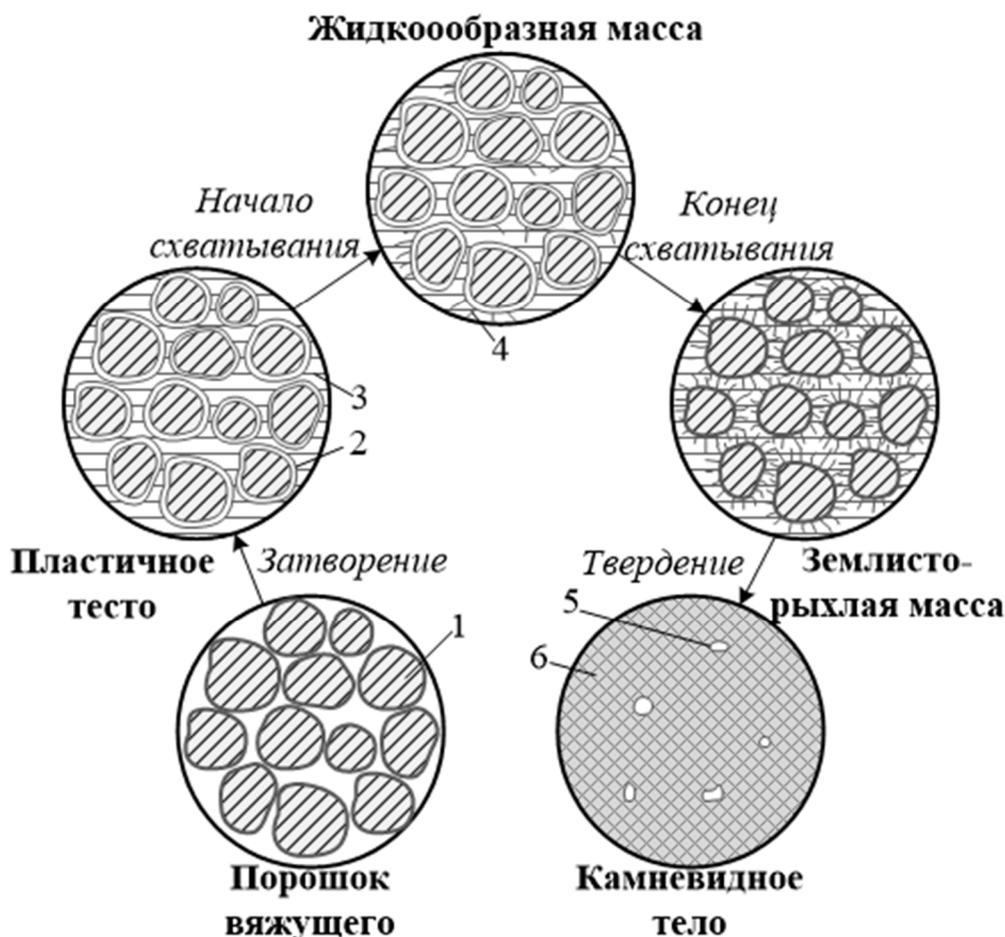
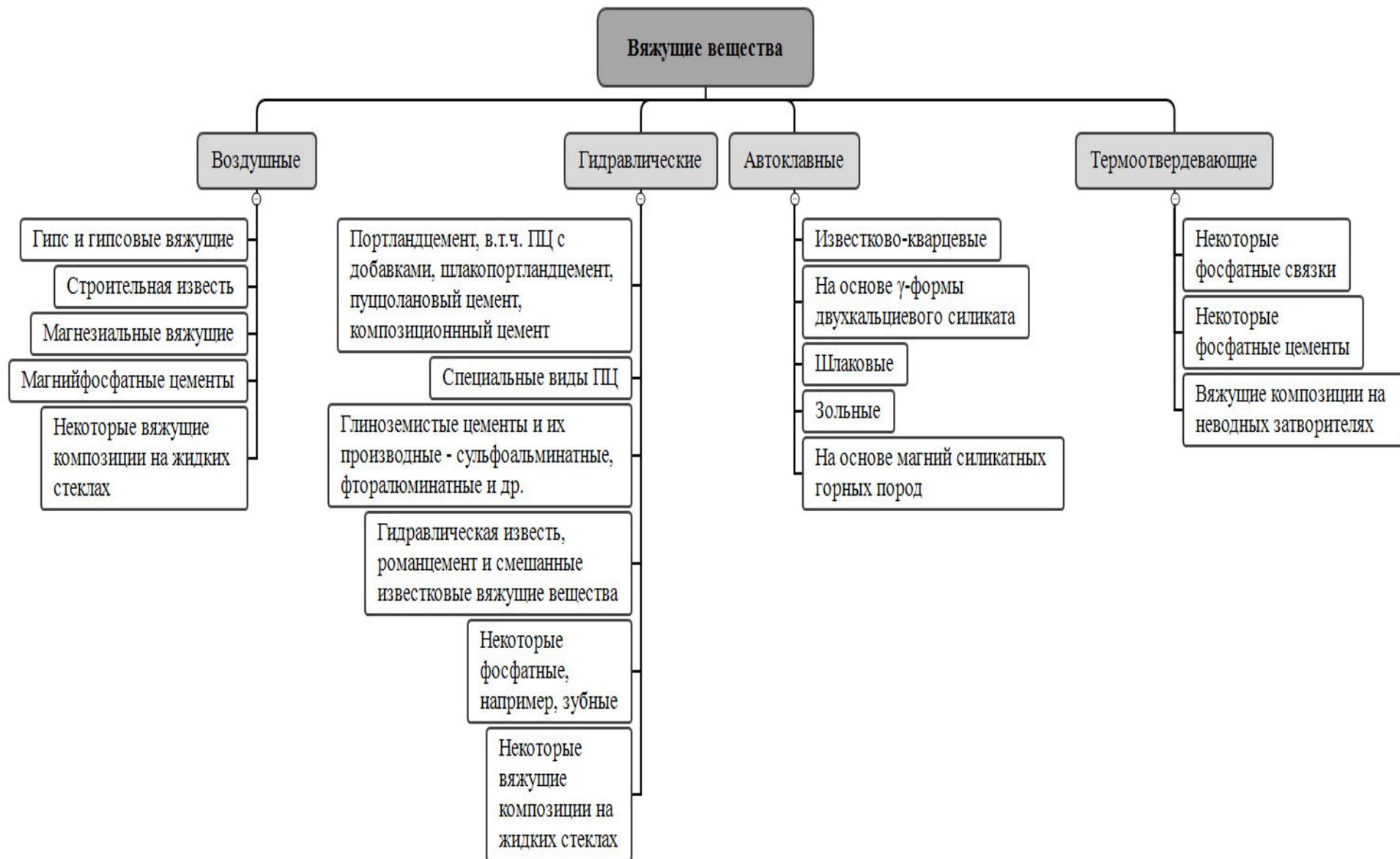


Рис. 1.1. Схема гидратации и твердения вяжущих веществ: 1 – частицы вяжущего вещества; 2 – адсорбционно-сольватные оболочки; 3 – свободная жидкость; 4 – кристаллы новообразований; 5 – воздушные поры; 6 – затвердевший материал

Следующим этапом развития процессов является отвердевание землесто-рыхлой массы, т.е. саморазвивающийся процесс с набором прочности уже сформировавшегося камневидного тела.

Минеральные вяжущие вещества классифицируют в зависимости от состава, условий твердения, основных свойств, области применения. Многообразие вяжущих веществ и за счет многих других факторов (например, громоздкость систематизации) создало сложности изучения и создания единой классификации. Поэтому наибольшее распространение получила классификация вяжущих веществ в зависимости от условий твердения, представленная на рис. 1.2.



10

Рис. 1.2. Классификация вяжущих веществ по условиям твердения

**Воздушные вяжущие вещества** – это вяжущие вещества, которые при взаимодействии с жидкостью затворения схватываются, твердеют и превращаются в камень в воздушно-сухой среде. Поэтому их используют только в условиях, исключающих действие жидкости, т.е. эксплуатируют только на воздухе, при обеспечении защиты от прямого действия влаги. Разновидности воздушных вяжущих представлены на рис. 1.2.

**Гидравлические вяжущие вещества**, затворенные жидкостью затворения, схватываются и твердеют, образуя искусственный камень, в атмосфере любой влажности (не ниже той, которая обеспечивает полную гидратацию компонентов), т.е. как в воздушной, так и во влажной (водной) среде, а также непосредственно в воде. Строительные гидравлические вяжущие включают следующие виды, приведенные на рис. 1.2.

**Автоклавные вяжущие** эффективно твердеют в результате гидротермальной или тепловлажностной обработки насыщенным паром под давлением 0,9–1,3 МПа. Их подвиды также указаны на рис. 1.2.

**Термотвердеющие вяжущие** твердеют только при повышенных температурах (100–400 °С).

Кроме того, все строительные вяжущие вещества можно разделить на два класса:

- *общие строительные вяжущие вещества*, к которым не предъявляется особых специфических требований за исключением обычных строительно-технических свойств (гипс, известь, портландцемент);
- *специальные строительные вяжущие вещества*, предназначенные для особых условий применения (декоративные, сульфатостойкие, тампонажные, полимерные, глиноземистые цементы и т.д.).

Развернутое описание об общих строительных вяжущих веществах приведено в главах 1, 3 и 5, а также о декоративных цементах, относящихся ко второму классу, рассмотрено в п. 5.5.

## 2. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Широкое применение гипсовые вяжущие находят благодаря быстрому схватыванию, твердению и приобретению за короткий срок достаточно высокой прочности.

**Гипсовые вяжущие вещества** представляют собой тонкоизмельченные продукты частичной или полной дегидратации дигидрата сульфата кальция, способных при затворении водой вследствие протекания обратной реакции гидратации схватываться, твердеть и превращаются в прочный камень в воздушно-сухой среде (при относительной влажности воздуха не более 60 %).

В настоящее время основным видом сырья для производства гипсовых вяжущих во всем мире являются природные разновидности гипсового камня: *двуводный* –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  или безводной соли *ангидрита* –  $\text{CaSO}_4$ , которые относятся к осадочным породам.

*Природный гипсовый камень* (рис. 2.1), основным минералом которого является двуводный гипс. Он без красящих примесей является бесцветным и прозрачным. Примеси (глины, кремнезема, известняка, доломита, органических веществ и др.) в зависимости от количества могут придавать гипсу окраску от белой до темно-серой и бурой, желтой, голубой, розовой, иногда до черной. Чистые разновидности месторождений гипсового камня содержат не более 1–3 % примесей.



Рис. 2.1. Добыча гипсового камня в шахте Бебьяевского месторождения

*Природный ангидрит* (рис. 2.2) представляет собой горную породу кристаллического строения на основе минерала состава  $\text{CaSO}_4$ . Он встречается в природе в виде сплошных зернистых масс или реже в виде хорошо образованных призматических кристаллов. Цвет ангидрита – от белого до темно-серого.

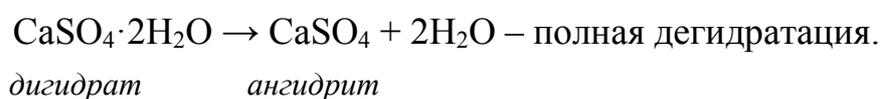
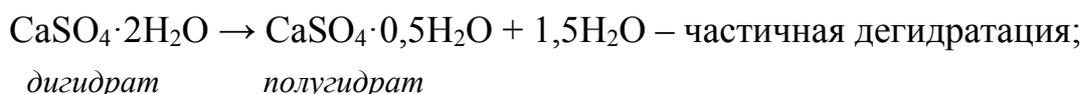


Рис. 2.2. Борнуковский ангидрит в Борнуковской пещере

Гипсовые вяжущие производятся только из гипсового камня, в то время как ангидритовое вяжущее (цемент) как из гипса, так и ангидритового камня, содержащего не менее 30 % гипса.

Для производства гипсовых вяжущих, предназначенных для фарфорово-фаянсовой промышленности, медицины, а также белого, глиноземистого и расширяющегося цемента используют гипсовый камень, содержащий не менее 95 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Гипсовые вяжущие получают путем частичной или полной дегидратации природного двухводного гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ :



### 2.1. Классификация гипсовых вяжущих и области их применения

Гипсовые вяжущие вещества, изготавливаемые на основе как природного, так и техногенного происхождения гипсового сырья, подразделяются на три основные группы:

I – вяжущие, получаемые термической обработкой дигидрата сульфата кальция. Они, в свою очередь, в зависимости от температуры тепловой обработки подразделяются на две группы:

1) Низкообжиговые (преимущественно на основе  $\alpha\text{-CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , или  $\beta\text{-CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), получаемые при температуре 120–180 °С. Они характеризуются быстрым схватыванием и твердением, а также сравнительно низкой прочностью. К ним относятся: строительный гипс, «алебастр»; формовочный гипс; технический высокопрочный гипс; медицинский гипс.

2) Высокообжиговые (ангидритовые, имеющие в своем составе полностью обезвоженный гипс с небольшим количеством свободного оксида кальция, образовавшегося от разложения  $\text{CaSO}_4$ ; эстрих-гипс), получаемые при температурах 600–800 °С или 900–1000 °С. Они отличаются от низкообжиговых медленным схватыванием и твердением, но более высокой прочностью. К ним относятся: эстрих-гипс (высокообжиговый гипс); ангидритовый цемент; отделочный цемент.

II – вяжущие, получаемые без термической обработки исходного дигидрата сульфата кальция и при тонком измельчении природных или искусственных разновидностей  $\text{CaSO}_4$  ( $S_{\text{уд}}$  более 300 м<sup>2</sup>/кг), можно изготавливать так называемые безобжиговые вяжущие. К ним относятся вяжущие на основе природных гипса или ангидрита, для активации которых к ним добавляются на стадии помола специальные добавки (активизаторы).

Все вышеперечисленные виды гипсовых вяжущих веществ являются неводостойкими или вяжущими воздушного твердения.

III – вяжущие, получаемые смешиванием продуктов I или II групп с различными компонентами природного или искусственного происхождения, в число которых входит известь, портландцемент и его разновидности, активные минеральные, а также химические добавки. Данные вещества за некоторым исключением относятся к водостойким материалам.

Более полная классификация гипсовых вяжущих с указанием областей их применения приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

## Классификация гипсовых вяжущих и области их применения

Группа	Вид	Гипсовое вяжущее	Состав	Применение
1	2	3	4	5
I	Низкообжиговые	Строительный гипс марок Г-2–Г-7	В основном $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	Изготовление строительных растворов, изделий и деталей, гипсокартонных и гипсоволоконных листов, смешанных гипсовых вяжущих.
		Гипсовое вяжущее не строительного назначения марок Г-7–Г-25 (формовочный, технический, медицинский)	В основном $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	В фарфоро-фаянсовой и керамической промышленности для изготовления капов, литевых форм и моделей. В автомобильной и авиационной промышленности, а также в машиностроении при изготовлении форм для литья цветных металлов и сплавов. Для медицинских целей: в ортопедии для изготовления хирургических повязок, лангет и муляжных слепков. Для производственных целей, в том числе декоративных и архитектурных деталей, саморазравнивающихся стяжек под полы, строительных растворов. Для получения смешанных гипсовых вяжущих.
		Супергипс марок Г-22–Г-25	$\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	В стоматологии для снятия оттисков для зубных протезов, ювелирном производстве.
	Высокообжиговые	Ангидритовый цемент (ангидритовое вяжущее)	$\text{CaSO}_4$ , активизатор ( $\text{CaO}$ , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , доменной шлак, обожженный доломит, сульфаты)	Кладочные растворы; самонивелирующиеся стяжки для пола; изготовление строительных изделий и деталей, искусственного мрамора; для получения смешанных ангидритовых вяжущих.
		Эстрих-гипс или высокообжиговый гипс	$\text{CaSO}_4$ , $\text{CaO}$	

1	2	3	4	5
		Специальное ангидритовое обжиговое вяжущее (отделочный ангидритовый цемент)	$\text{CaSO}_4$ , $\text{CaO}$	Отделочные растворы, архитектурно-строительные изделия, искусственный мрамор.
II	Безобжиговые	Ангидритовый цемент (ангидритовое вяжущее)	Природный $\text{CaSO}_4$ , активатор твердения	Строительные растворы, изготовление архитектурных деталей, стеновых блоков для малоэтажных зданий.
		Гипсовый цемент		
III	Водостойкие	Гипсоцементно-пуццолановые (ГЦПВ) и гипсоцементношлакопуццолановые вяжущие	$\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ( $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) портландцемент, активные минеральные добавки (природные или техногенные)	Получение строительных растворов и бетонов, способных к гидравлическому твердению; изготовление строительных изделий, деталей и конструкций, в том числе несущих; устройство саморазравнивающихся стяжек под линолеум или ламинат.
		Композиционные гипсовые вяжущие (КГВ)		
		Композиционные ангидритовые вяжущие		
	Неводостойкие	Гипсоизвестковошлаковые вяжущие (ГИШВ)	Различные гипсовые вяжущие вещества, строительная известь, доменный гранулированный шлак	Изготовление мелкоштучных строительных изделий и растворов.
			Гипсоизвестковые вяжущие (ГИВ)	
			Гипсошлаковые вяжущие (ГШВ)	

## 2.2. Физико-химические основы процесса дегидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Изготовление гипсовых вяжущих веществ базируется на тепловой обработке гипсового камня, в результате которой протекают постепенные процессы его обезвоживания (дегидратация), представленные на схеме термохимических превращений двуводного гипса (рис. 2.3).

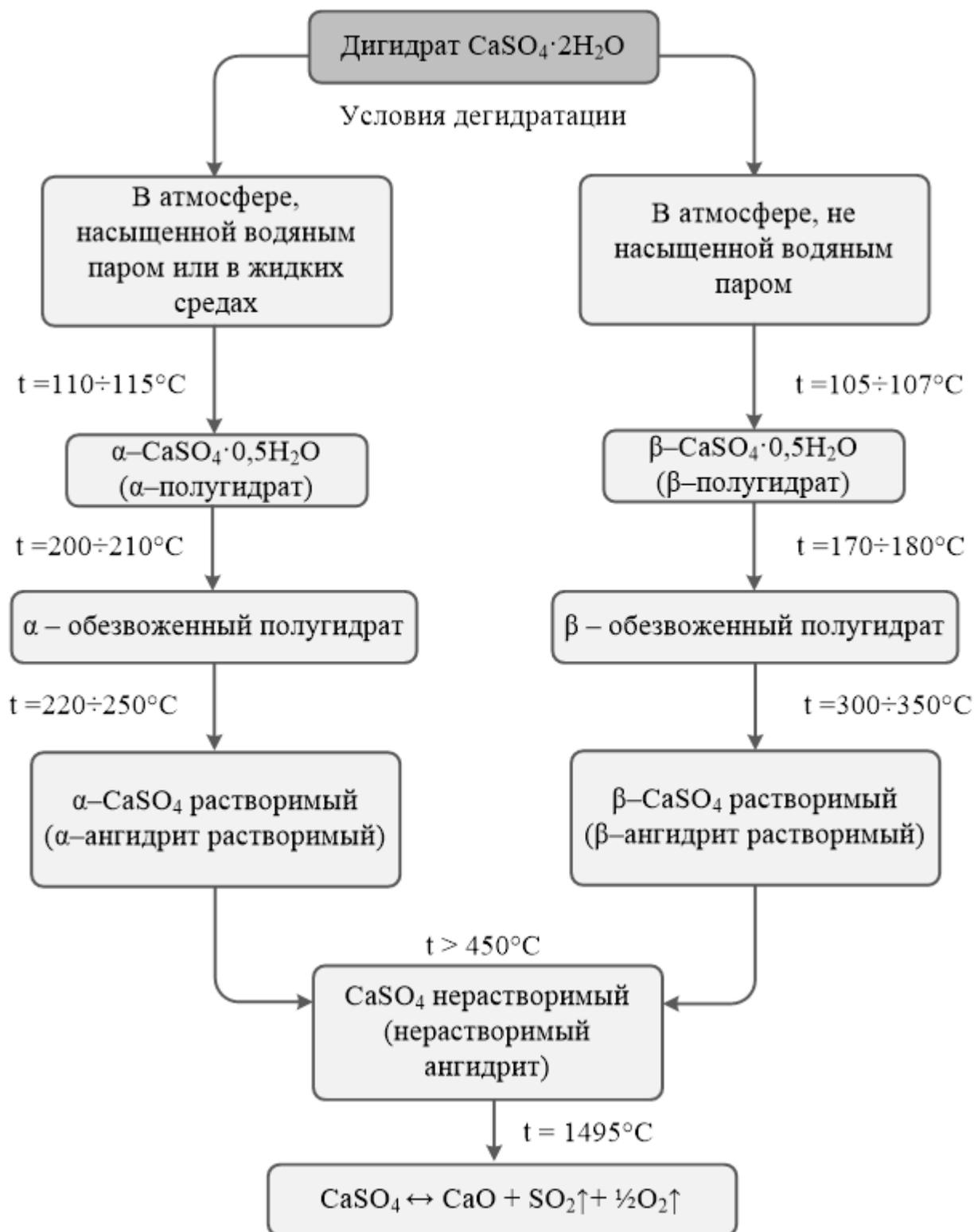


Рис. 2.3. Схема термохимических превращений двуводного гипса

Вода в кристаллической решетке природного гипса связана слабо, она может начать выделяться уже при температуре 60 °С. Дегидратация может начаться и при более низкой температуре, если парциальное давление водяных паров в окружающей среде окажется меньше упругости диссоциации  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  при данной температуре. Сам процесс дегидратации зависит в значительной мере от условий его проведения. В соответствии с этим и по мере увеличения температуры образуются различные продукты дегидратации, которые представлены на рис. 2.3.

При удалении кристаллизационной воды из  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в виде пара происходит диспергирование частиц гипса и разрыхление его кристаллической решетки. При этом продукт приобретает повышенную подвижность и создает псевдосжиженный «кипящий» слой. Образующиеся кристаллы  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  мелкие, плохо выраженные, имеют игольчатое строение, которые образуют агрегаты (рис. 2.4, а). Однако размер и форма кристаллов полугидрата сохраняются такими, какими были у  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

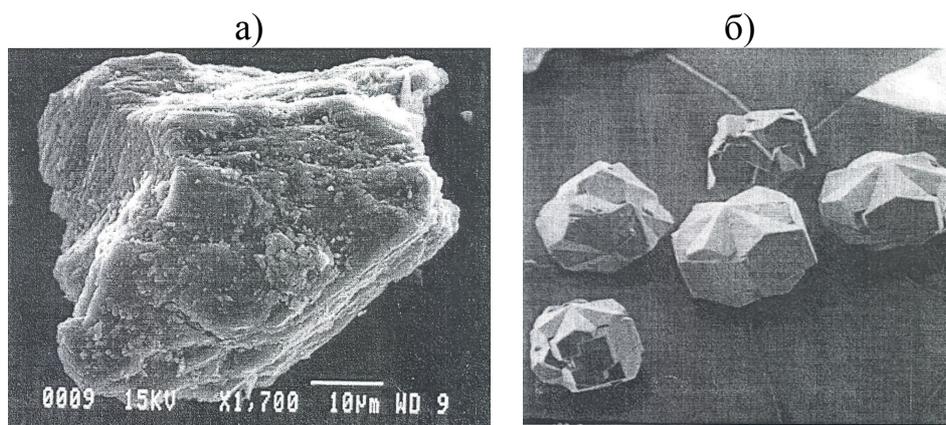


Рис. 2.4. Кристаллы полугидратов сульфата кальция: а –  $\beta$ ; б –  $\alpha$

Удаляемая кристаллизационная вода образует поры как между отдельными кристаллами, так и внутри их. Именно поэтому  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  имеет удельную поверхность в 2–2,5 раза большую по сравнению с  $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ .

В случае удаления кристаллизационной воды в капельножидком состоянии образуется  $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ . При этом кристаллы полугидрата не разрыхляются, они крупные, плотные и кристаллизуются в виде хорошо сформированных крупных прозрачных призм (рис. 2.4, б). В дальнейшем происходит перекристаллизация  $\alpha$ -полугидрата, приводящая к увеличению толщины кристаллов и уменьшению их длины.

Вышеизложенный процесс получения полугидратов обуславливает различные свойства гипсовых вяжущих на основе  $\alpha$ - и  $\beta$ -форм:  $\beta$ - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  отличается более высокими значениями дисперсности и водопотребности, пористости, большей скоростью взаимодействия с водой, меньшей плотностью и прочностью получаемого гипсового камня. Причем, повышенная водопотребность у  $\beta$ - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  приводит к избыточной воде, добавленной к вяжущему сверх стехиометрии по реакции:



которая в дальнейшем неизбежно испаряется, поризуя при этом затвердевшее изделие и, тем самым, снижая его прочность. Несмотря на это,  $\beta$ -полугидрат, являясь основной составляющей строительного гипса, существенно дешевле и составляет основную часть гипсовых вяжущих.

Кроме того, необходимо учитывать, что при обжиге двухводного гипса до полугидрата в составе продукта может также находиться растворимый и даже нерастворимый ангидрит, что сказывается на свойствах. Растворимый ангидрит на воздухе поглощает влагу и превращается в полугидрат. Следовательно, у несколько пережженного гипса при вылеживании качество повышается, тогда как примесь недожженного гипса при недостаточном обжиге представляет собой балласт и неблагоприятно влияет на механическую прочность затвердевшего вяжущего, а также на скорость схватывания. Одновременное содержание в строительном гипсе растворимого ангидрита и сырого гипса вызывает весьма быстрое схватывание, так как первый быстро растворяется и переходит в двухводный гипс, а второй создает центры кристаллизации.

Повышение температуры термообработки  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  до 170–180 °С и 200–210 °С приводит к образованию обезвоженных полугидратов соответственно  $\beta$ - и  $\alpha$ -модификации. Эти превращения не приводят к изменению кристаллической решетки продуктов. Обезвоженные полугидраты обладают высокой гигроскопичностью и при хранении на воздухе легко превращаются вновь в водные полугидраты. Эти модификации существуют в узком интервале температур и практического значения не имеют.

При дальнейшем повышении температур до 220 °С и более 300 °С  $\alpha$ - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  превращается в растворимый  $\alpha$ - $\text{CaSO}_4$ , а  $\beta$ - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  переходит в растворимый  $\beta$ - $\text{CaSO}_4$ . При этом расстояние между соседними

ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  несколько увеличивается. Растворимые ангидриты вследствие перестройки моноклинной кристаллической решетки в ромбическую имеют более высокую по сравнению с полугидратными модификациями удельную поверхность и, как следствие, на 20–30 % большую водопотребность, быстрое схватывание и пониженную прочность затвердевшего камня. Из этого вытекает, что крайне нежелательно повышать оптимальные температуры при получении полугидратных модификаций во избежание образования растворимых ангидритов.

В растворимых ангидритах при температуре выше 450 °С расстояние между вышеуказанными ионами уменьшается (именно этот фактор снижает активность ангидрита по отношению к воде) и они превращаются в нерастворимый  $\text{CaSO}_4$ , аналогичный по структуре природному ангидриту. Этот процесс сопровождается уменьшением удельной поверхности и, как следствие, снижением водопотребности, удлинением сроков схватывания и твердения. Нерастворимый ангидрит (природный или полученный обжигом гипсового камня) самостоятельно практически не гидратируется и не твердеет, и только в присутствии минеральных добавок он может проявлять вяжущие свойства. В качестве таких добавок (катализаторов реакции гидратации  $\text{CaSO}_4$ ) могут быть использованы известь, растворимые сульфаты, доменные шлаки, золы ТЭЦ и др., именно введением активаторов получают различные виды ангидритового цемента.

Повышение температуры термообработки выше 750 °С приводит к существенному изменению свойств продукта, который приобретает способность схватываться и твердеть. Это объясняется началом частичной диссоциации сульфата кальция в интервале 900–1000 °С, что приводит к появлению в составе продукта свободного  $\text{CaO}$  в количестве 2–3 %. Так, нерастворимый ангидрит  $\text{CaSO}_4$  является основным компонентом высокообожженного гипса (эстрих-гипса), который обладает способностью схватываться и твердеть именно благодаря присутствию в его составе свободного  $\text{CaO}$ . При температуре 1495 °С ангидрит плавится и полностью разлагается на  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{O}_2$  по реакции:



Высокообжиговые гипсовые вяжущие по сравнению с низкообжиговыми обладают лучшими эксплуатационными свойствами.

Температуры термохимических превращений  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , указанные на схеме, приведены в лабораторных условиях и носят ориентировочный характер. В связи с тем, что на практике гораздо больший объем сырьевого материала обжигают в печи, сырье поступает с постоянно меняющимся химическим составом (из-за наличия различного рода и количества примесей) и существует невозможность создания в реакционном объеме совершенно однородного теплового поля, для ускорения обжига приходится применять более высокие температуры. Вследствие этого целевой продукт будет иметь всегда полиминеральный состав, т. е., например, в строительном гипсе наряду с  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  присутствует еще и растворимый  $\text{CaSO}_4$ , а также остатки исходного  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

### 2.3. Строительный гипс

Наиболее широко используемым и массово производимым низкообжиговым вяжущим является строительный гипс. Он представляет собой воздушное вяжущее вещество, получаемое путем термической обработки природного или техногенного двуводного гипса при  $120\text{--}180\text{ }^\circ\text{C}$  с последующим измельчением в тонкий порошок.

В большинстве случаев проведение эндотермической реакции дегидратации гипса происходит при относительно сухих условиях, атмосферном или близком к атмосферному давлению и температуре  $120\text{--}180\text{ }^\circ\text{C}$ :



При этом выделяющаяся вода испаряется, а  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  появляется в виде слоистых, с зазубринами, чешуйчатых вторичных кристаллов. В результате этого водопотребление  $\beta$ -полугидрата гипса будет выше, а прочность продукта ниже по сравнению с компактными и относительно крупными первичными кристаллами  $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ .

При повышении температуры выше  $180\text{ }^\circ\text{C}$  происходит постепенная полная дегидратация полуводного гипса, что ухудшает его свойства. При низкой температуре обжига (до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ) двуводный гипс дегидратируется очень медленно, в полученном продукте могут остаться недегидратированные частицы гипсового камня  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , которые не растворяются в воде и не обладают вяжущими свойствами.

Строительный гипс нельзя использовать для сооружений, которые могут контактировать с водой. Гипсовые изделия, защищенные от действия ат-

мосферных осадков и сырости, долговечны. Для повышения прочности и водостойкости строительного гипса можно добавлять к нему воздушную известь (около 5 %), молотый гранулированный шлак, портландцемент, кремнийорганические соединения и др.

#### 2.4. Формовочный гипс

Для формования керамических (фарфорофаянсовых, санитарно-технических), автомобильных, авиационных и многих др. изделий применяют в основном разъемные гипсовые формы, которые оказывают существенное влияние (одно из основных) на процесс литья и качество отлитых готовых изделий. В свою очередь для изготовления гипсовые формы используют формовочный гипс, который представляет собой вяжущее вещество, изготавливаемое термической обработкой природного гипсового камня при температуре 120–170 °С с последующим или предыдущим тонким измельчением в порошок.

Для производства формовочного гипса используют сырье только I сорта с содержанием не менее 96–97 % двуводного гипса. От чистоты гипсового камня зависит часто износостойкость и коррозионная устойчивость форм. Это объясняется различной растворимостью гипса и таких примесей, как кварцевый песок, уголь и др. Однако небольшое количество примесей, равномерно распределенных в массе сырья, не вызывает заметного ухудшения качества формовочного гипса.

К формовочным гипсовым вяжущим веществам предъявляются ряд дополнительных требований по ГОСТ 125–79 (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Технические требования к формовочным гипсовым вяжущим

Наименование показателей	Величина	
Сроки схватывания:	начало, мин, не ранее	6,0
	конец, мин, не позднее	30,0
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее:	через 7 сут;	2,3
	через 28 сут.	10
Тонкость помола – максимальный остаток на сите с ячейками в свету 0,2 мм, %, не более		1,0
Объемное расширение, %, не более		0,15
Примеси, нерастворимые в соляной кислоте, %, не более		1,0
Содержание металлопримесей в 1 кг гипса, мг, не более		8,0
Водопоглощение, %, не менее		30,0

Для получения качественных форм формовочный гипс должен обладать следующими характеристиками:

- способностью давать при затворении водой текучую и подвижную, хорошо перемешиваемую, однородную, без комков формовочную массу, при затвердевании которой получают прочную отливку с необходимой пористостью;
- однородной структурной отливкой, сообщающей высокую прочность, достаточную впитываемость и гладкую, трудно коррозирующую поверхность;
- незначительным и равномерным расширением при схватывании и твердении, обеспечивающим форме четкость рисунка, легкое отделение при извлечении из капов и сохранение необходимой точности размеров.

Важной характеристикой, влияющей на механическую прочность и всасывающую способность гипсовых отливок, является гранулометрический состав гипса. Для повышения дисперсности формовочного гипса возможно применение отсева крупных фракций (остаток на сите №02), так как они почти не участвуют в твердении и рассматриваются в основном как инертный наполнитель. Это обуславливает понижение прочности гипсовых форм, их неравномерное изнашивание поверхности и ухудшает ее гладкость, а также они получаются шероховатыми и с изъянами.

Для производства формовочного гипса применяют тепловлажностный способ приготовления, т.е. создают при обжиге атмосферу, насыщенную водяными парами. Произведенный таким образом полугидрат  $\alpha$ -модификации состоит из хорошо сформировавшихся, компактных и относительно крупных первичных кристаллов, которые придают продукту увеличенные сроки схватывания, сниженное водопотребление и повышенную прочность производимого из него материала.

Изготовленные на основе  $\beta$ -полугидрата формы обладают невысокой прочностью, но имеют малое объемное расширение и достаточную пористость, которую получают в результате мелкокристаллической дисперсной структуры и более развитой удельной поверхности. Она требуется для смачивания и придания массе необходимой литейной консистенции больших количеств воды сверх расходуемой на реакции гидратации. Однако повышенная пористость является причиной низкой механической прочности гип-

совых форм.

Формы из  $\alpha$ -полугидрата при высокой прочности характеризуются низкой всасывающей способностью и более высоким объемным расширением (до 0,3 %). Оно вызывает значительное повышение отходов форм, имеет короткий интервал литья, незначительную пористость отливок и крупность помола, а также повышенную шероховатость у форм за счет обнажения зерен посторонних примесей.

В результате вышеизложенного в качестве формовочного гипса возможно применение как  $\alpha$ -ПГ, так и  $\beta$ -ПГ. Кроме того, для снижения объемного расширения и доведения до оптимальных технологических параметров в гипс возможно введение извести (пушонки), молотых отработанных форм (до 10 %), органических добавок в смеси с известью. Например, при производстве крупногабаритных санитарно-технических изделий необходим высокопрочный, или технический гипс, характеризующийся открытой пористостью 22–25 %.

## **2.5. Высокообжиговые гипсовые вяжущие**

*Высокообжиговые гипсовые вяжущие* – это материалы, получаемые путем обжига при температурах выше 600 °С с последующим тонким помолом. Сырьем для их производства являются природный гипс или ангидрит, а также техногенные продукты.

Отличительной особенностью производства высокообжиговых гипсовых вяжущих является необходимость введения в их состав активаторов твердения, которые вводят при помоле, и они обеспечивают сокращение сроков твердения.

Разновидностями высокообжиговых гипсовых вяжущих являются: ангидритовый цемент или ангидритовое вяжущее, отделочный ангидритовый цемент и высокообжиговый гипс или эстрих-гипс.

*Ангидритовый цемент или ангидритовое вяжущее* представляет собой продукт тонкого помола природного или искусственного ангидрита, полученного путем обжига двуводного гипса при температуре 600–700 °С.

*Отделочный ангидритовый цемент* получают путем двукратного, реже однократного обжига маложелезистого чистого гипсового камня при температуре 600–750 °С с последующим тонким помолом. Твердение отделочного ангидритового цемента аналогично ангидритовому цементу. Чем выше тем-

пература обжига, тем медленнее твердеет, но зато имеет больше прочность: 25–35 МПа.

*Высокообжиговый гипс (эстрих-гипс)* – это продукт обжига природного гипса или ангидрита, или фосфогипса при температуре 800–1000 °С с последующим тонким помолом в порошок. Эстрих-гипс имеет щелочную реакцию, так как при обжиге двухводный гипс полностью обезвоживается и ангидрит частично разлагается на CaO и SO<sub>2</sub>:



Свободная известь выполняет функцию активатора твердения и способствует растворению ангидрита, при этом образуются растворимые комплексные соединения.

Эстрих–гипс повышенного качества можно использовать из сырья, содержащего 3–4 % карбонатов кальция и магния и 5–7 % глинистых примесей. В таких условиях карбонаты, разлагаясь, дают ускорители твердения: CaO и MgO, а глинистые примеси позволяют снизить температуру обжига.

Из всех гипсовых вяжущих эстрих–гипс является наиболее водостойким и морозостойчивым, что связано с повышенной плотностью затвердевшего камня и меньшей водонепроницаемостью. Прочность повышается, если в первые 1–2 месяца изделия находятся в воздушно-влажных условиях. Кроме того, высокообжиговый гипс характеризуется повышенной стойкостью к истиранию.

## 2.6. Твердение гипсовых вяжущих веществ

В основе схватывания и твердения полуводного гипса лежит химическая реакция его гидратации с образованием дигидрата сульфата кальция по схеме:



Сам процесс гидратации полуводного гипса протекает на воздухе и сопровождается выделением тепла, его количество составляет 133 кДж/кг или 19,3 кДж/моль. Однако температура при этом невысока и достигает 40–50 °С только при крупных отливках из гипсового вяжущего вещества без использования заполнителя – песка. Подъем температуры твердеющего гипса зависит от чистоты продукта, условий обжига и тонкости помола, а также от теплоемкости раствора и условий теплоотдачи в окружающее пространство.

В основе теории твердения гипсовых вяжущих лежит работа Ле-Шателье. По его *кристаллизационной теории* (1887 г.) в течение *первого этапа* при смешении с водой полугидрат сульфата кальция растворяется с образованием насыщенного водного раствора, при этом формируется каркас кристаллизационной структуры с возникновением контактов срастания между кристаллами новообразований. В течение *второго этапа* происходит обрастание ранее возникшего каркаса, т. е. рост составляющих его кристаллов. Такое обрастание приводит к повышению прочности, но при известных условиях может явиться и причиной появления внутренних напряжений, вызывающих понижение прочности. Наибольшая конечная прочность обуславливается возникновением кристаллов новообразований достаточной величины при минимальных напряжениях, сопровождающих формирование и развитие кристаллизационной структуры.

В своей *коллоидальной теории В. Михаэлис* (1892 г.) полагал, что в результате проникновения молекул воды в поверхностный слой частиц вяжущего вещества образуется коллоидная масса из мельчайших частиц гидрата, а сам процесс происходит топомхимически. Выделяющийся в коллоидном состоянии дигидрат затем переходит в кристаллическую форму. При этом потеря подвижности и начало схватывания гипсовой смеси вызывается образованием большого количества кристаллов дигидрата и трением, возникающим при их соприкосновении.

По *коллоиднохимической теории А.А. Байкова* (1923 г.) твердение полугидрата сульфата кальция (так же, как и других вяжущих) происходит в три периода:

- 1 период (растворение и образование насыщенного раствора);
- 2 период (образование коллоидной массы, или схватывание);
- 3 период (кристаллизация и твердение).

Все три периода твердения наступают не в строгой последовательности один за другим.

Кроме того, существует еще *теория П.А. Ребиндера* и *Е.Е. Сегаловой*, по которой процесс твердения идет в основном по схеме Ле–Шателье с добавлением этапа рекристаллизации. Так, в *первом этапе* происходит растворение полугидрата с образованием пересыщенного раствора, а во *втором* идет гидратация  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  в растворе. *Третий период* характеризуется формированием каркаса кристаллизационной структуры (на основе образо-

вавшейся гидратной фазы) с возникновением контактов срастания между кристалликами новообразований. Такой каркас имеет дефектные контактные зоны, которые в дальнейшем самопроизвольно переходят в устойчивое состояние. В *четвертом периоде* (рекристаллизации) наблюдается растворение нестабильных участков структуры с последующим формированием правильной кристаллической решетки. Новые контакты при этом уже не появляются, а происходит обрастание уже имеющегося каркаса, т.е. рост составляющих его кристалликов. Данному периоду соответствует уменьшение прочности за счет появления внутренних растягивающих напряжений, возникающих в результате направленного роста кристаллов; впоследствии за счет обрастания существующего каркаса структура упрочняется.

В последующие годы эти теории получили дальнейшее развитие в трудах многих ученых. Особого внимания заслуживает *смешанная схема*, по которой механизм образования гидратных соединений в реальных условиях протекает одновременно по нескольким теориям. Так, процесс твердения системы идет по схеме А. Ле-Шателье с растворением части вещества в воде, с последующей гидратацией его и переходом в осадок гидрата, и по схемам В. Михаэлиса и А.А. Байкова с прямым присоединением воды к твердой фазе (топохимически).

При затворении строительного гипса всегда имеется избыток воды. Эта вода образует насыщенный раствор гипса, который обволакивает кристаллы новообразований, т. е. кристаллы оказываются разьединенными прослойками насыщенного раствора. Для нарастания прочности необходимо, чтобы вслед за гидратацией произошло сращивание кристаллов новообразований, на что требуется время. Росту кристаллов и их сращиванию способствует процесс испарения воды и высыхание твердеющей массы.

Твердение ангидритового вяжущего происходит в присутствии сульфатных или щелочных активизаторов. После предварительного твердения во влажной среде ангидритовое вяжущее продолжает набирать прочность в воздушно-сухих условиях.

Твердение высокообжиговых гипсовых вяжущих, по данным П.П. Будникова, обусловлено тем, что в присутствии воды и активатора на поверхности частиц ангидрита образуются неустойчивые ассоциаты, которые затем распадаются с выделением  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в коллоидном состоянии, сопровождающимся выделением тепла, и происходит схватывание. Протекающие в дальнейшем процессы перекристаллизации ведут к твердению. Более быст-

рому протеканию твердения способствует щелочная среда, возникающая при растворении в воде.

## 2.7. Свойства гипсовых вяжущих веществ

Гипсовые вяжущие вещества обладают рядом физических характеристик, таких как цвет, плотность и удельная поверхность. Кроме того, в соответствии с ГОСТ 125–79 им присущи следующие важнейшие технические свойства: тонкость помола, водопотребность, нормальная густота и др.

**Цвет** гипсовых вяжущих определяется химическим составом гипсового сырья, а именно его чистотой и содержанием примесей, а также способом производства. Степень белизны гипсовых вяжущих колеблется в весьма широком диапазоне от очень высокой (90–95 %) до сероватого в зависимости от способа производства и качества сырья.

**Плотность** порошкообразного гипсового вяжущего бывает истинной в пределах 2600–2750 кг/м<sup>3</sup>, насыпной в уплотненном состоянии – 1200–1450 кг/м<sup>3</sup>, в рыхлом – 800–1100 кг/м<sup>3</sup>.

**Удельная поверхность** – это суммарная поверхность всех зерен вяжущего в единице объема или массы. При удалении воды из двуводного гипса в виде пара образуется много пор и соответственно будет большая удельная поверхность (для строительного гипса находится в пределах 300–500 м<sup>2</sup>/кг). При дегидратации CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O под давлением происходит удаление кристаллизационной воды в капельно-жидком состоянии, что обуславливает меньшую поризацию и, следовательно, меньшую удельную поверхность – 90–120 м<sup>2</sup>/кг для высокопрочного гипса.

**Тонкость помола** свидетельствует о дисперсности гипсового вяжущего и выражается остатком в массовых процентах на стандартном сите № 02 (соответствует зернам с размером более 200 мкм). Согласно ГОСТ 125–79 гипсовые вяжущие вещества по тонкости помола подразделяются на следующие виды, приведенные в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Виды гипсовых вяжущих веществ в зависимости от тонкости помола

Вид вяжущего	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм, %, не более
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

Тонкость помола оказывает влияние на водопотребность вяжущих, сроки схватывания и механическую прочность.

**Водопотребность** является важнейшим свойством гипсовых вяжущих и характеризует минимальное количество воды, необходимое для получения теста заданной стандартной консистенции. Она зависит от многих факторов: состава сырья, способа получения вяжущего и тонкости его помола.

**Нормальная густота** гипсового вяжущего – стандартная консистенция гипсового теста, получаемого при затворении вяжущего водой, которая характеризуется диаметром расплыва теста  $180 \pm 5$  мм при испытании на вискозиметре Суттарда. Она выражается величиной *водогипсового отношения* в процентах или долях единицы, т.е. отношения количества воды к массе гипсового вяжущего.

**Водостойкость** гипсовых вяжущих оценивается по коэффициенту размягчения  $K_p$ , который представляет собой отношение прочности образцов после выдержки их в воде к прочности в сухом состоянии. Гипсовые вяжущие в зависимости от величины коэффициента размягчения  $K_p$  делятся:

- на неводостойкие (НВ) –  $K_p < 0,45$ ;
- средней водостойкости (СВ) –  $0,45 < K_p < 0,6$ ;
- повышенной водостойкости (ПВ) –  $0,6 < K_p < 0,8$ ;
- водостойкие (В) –  $K_p > 0,8$ .

Некоторые способы повышения водостойкости гипсовых изделий:

- уплотнение изделий при формовании (прессование, трамбование, вибрирование; снижение водогипсового отношения);
- введение кремний-органических и других добавок или пропитка ими гипсовых изделий;
- нанесение защитных пленок;
- введение добавок гидравлических вяжущих, активных минеральных добавок природных или техногенных.

**Сроки схватывания** соответствуют времени от момента затворения гипсового вяжущего водой до начала и конца схватывания, определяемые с помощью прибора Вика. *Начало схватывания* – это промежуток времени от момента затворения вяжущего водой до момента, когда свободно опущенная игла прибора Вика после погружения в гипсовое тесто не доходит до дна на 1–1,5 мм. *Конец схватывания* – время от момента затворения вяжущего водой до момента, когда свободно опущенная игла погружается в тесто на глу-

бину не более 1 мм.

Согласно ГОСТ 125–79 в зависимости от сроков схватывания гипсовые вяжущие делятся на 3 группы: быстротвердеющие, нормальнотвердеющие и медленнотвердеющие (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Сроки схватывания гипсовых вяжущих веществ

Вид вяжущего	Индекс сроков твердения	Сроки схватывания, мин	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	Не нормируется

На сроки схватывания большое влияние оказывают: тонкость помола вяжущих, водогипсовое отношение, длительность и условия хранения гипсовых вяжущих и другие факторы. Одним из эффективных способов регулирования сроков схватывания гипсовых вяжущих является применение соответствующих добавок.

Главным показателем затвердевшего вяжущего является *механическая прочность* – это способность материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных внешними силами или другими факторами. Прочность затвердевшего гипсового вяжущего определяется по результатам испытаний стандартных образцов–балочек 40×40×160 мм, изготовленных из гипсового теста нормальной плотности, на изгиб и сжатие через 2 ч после формования. В табл. 2.5 приведены показатели предела прочности, а также марки гипсовых вяжущих, которые определяются по пределу прочности на сжатие в возрасте 2 ч, выраженному в МПа.

Таблица 2.5

Прочность гипсового вяжущего

Марка вяжущего	Предел прочности, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее		Марка вяжущего	Предел прочности, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее	
	при сжатии	при изгибе		при сжатии	при изгибе
Г–2	2,0 (20)	1,2 (12)	Г–10	10,0 (100)	4,5 (45)
Г–3	3,0 (30)	1,8 (18)	Г–13	13,0 (130)	5,5 (55)
Г–4	4,0 (40)	2,0 (20)	Г–16	16,0 (160)	6,0 (60)
Г–5	5,0 (50)	2,5 (25)	Г–19	19,0 (190)	6,5 (65)
Г–6	6,0 (60)	3,0 (30)	Г–22	22,0 (220)	7,0 (70)
Г–7	7,0 (70)	3,5 (35)	Г–25	25,0 (250)	8,0 (80)

При схватывании и твердении гипсового вяжущего в первоначальный период наблюдаются **объемные деформации** или изменение объема, а именно его увеличение примерно на 0,5–1 %. *Расширение* затвердевшего гипсового вяжущего обусловлено наличием в нем растворимого ангидрита, поскольку он при твердении увеличивается на 0,7–0,8 %, тогда как полугидрат расширяется лишь на 0,05–0,15 %. При дальнейшем твердении и высыхании происходит *усадка* в пределах 0,05–0,1 %. Однако она может увеличиваться с повышением температуры сушки. Деформации усадки и расширения являются обратимыми.

Материалы из гипсовых вяжущих обладают повышенной **огнестойкостью**. Это обусловлено тем, что при воздействии огня затрачивается значительное количество теплоты на испарение кристаллизационной воды, выделяющейся при дегидратации двуводного гипса, и образованием при этом сильно развитой пористой структуры гипса, имеющей высокий коэффициент термического сопротивления.

Вяжущие высшей категории качества должны удовлетворять дополнительным требованиям (табл. 2.6). Так, например, вяжущие для фарфорофаянсовой и керамической промышленности должны иметь марку не ниже Г–10.

Таблица 2.6

Технические требования к гипсовым вяжущим, используемым для технических целей

Наименование показателей	Вяжущие для фарфорофаянсовой и керамической промышленности	Вяжущие для других отраслей промышленности
Сроки схватывания:		
начало, мин, не ранее	6,0	–
конец, мин, не позднее	30,0	–
Тонкость помола – максимальный остаток на сите с ячейками в свету 0,2 мм, %, не более	1,0	–
Объемное расширение, %, не более	0,15	0,2
Примеси, нерастворимые в соляной кислоте, %, не более	1,0	1,0
Содержание металлопримесей в 1 кг гипса, мг, не более	8,0	8,0
Водопоглощение, %, не менее	30,0	–

Высокопрочное гипсовое вяжущее – супергипс, производимый по ТУ 21–31–42–81 и ТУ РБ 100354659.024–2001, должен обладать следующими свойствами (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Основные свойства супергипса

Свойства	Ед. изм.	Значение
Тонкость помола (остаток на сите № 02), не более	%	1
Нормальная густота	%	24–26
Сроки схватывания:		
начало, не ранее	мин	5–8
конец, не позднее	мин	9–12
Предел прочности образцов из теста нормальной густоты (диаметр расплыва 120±5 мм) через 2 ч, не менее:		
при изгибе	МПа	7–9
при сжатии	МПа	25–30
при сжатии образцов, высушенных до постоянной массы	МПа	60–70

Высокообжиговые вяжущие вещества должны удовлетворять определенным требованиям, приведенным в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Свойства высокообжиговых гипсовых вяжущих

Свойства	Ангидри- товое вя- жущее (цемент)	Отделоч- ное ангид- ритовое вяжущее	Безобжиго- вое ангид- ритовое вяжущее	Эстрих- гипс
Тонкость помола – остаток на сите № 008, % не более	15	15	15	5 (на сите № 02)
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2800–2900	2850–2900	3000	2900–3000
Насыпная плотность в рыхлом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	800–1000	800–1000	1000–1200	900–1100
Нормальная густота, %	35,0–40,0	37,0–43,0	25,0–30,0	30,0–35,0
Сроки схватывания теста, ч:				
начало, не ранее	0,5–2,0	1,0–2,0	2,0–4,0	2,0–3,0
конец, не позднее	2,0–4,0	2,0–4,0	4,0–8,0	4,0–6,0
Предел прочности при сжатии через 28 сут твердения во влажных условиях, МПа	15,0–30,0	25,0–35,0	10,0–20,0	15,0–20,0
Предел прочности на изгиб образцов во влажных условиях, МПа:				
через 7 сут твердения	2,0–3,0	3,0–3,5	1,0–1,5	1,5–2,5
через 28 сут твердения	2,5–4,5	3,5–4,5	1,5–2,5	2,0–3,5
Коэффициент размягчения	0,58–0,62	–	–	0,6–0,65

Ангидритовое, отделочное ангидритовое, безобжиговое ангидритовое и высокообжиговое (эстрих-гипс) вяжущие не являются быстросхватывающимися и быстротвердеющими.

## 2.8. Вопросы для самоконтроля

1. Что такое гипсовые вяжущие вещества?
2. Какие сырьевые материалы используют для изготовления гипсовых вяжущих материалов?
3. Опишите классификацию гипсовых вяжущих веществ.
4. Что происходит с двуводным гипсом в атмосфере не насыщенной водяными парами или растворами солей?
5. Какие термохимические превращения происходят с полуводным гипсом?
6. Как влияет атмосфера, насыщенная водяными парами или растворами солей, на состав полуводного гипса?
7. Из чего состоит строительный гипс?
8. Какими свойствами обладает строительный гипс?
9. Назовите требования к формовочному гипсу.
10. Какими характеристиками обладает формовочный гипс?
11. Как влияет состав формовочного гипса на свойства гипсовых форм?
12. Опишите теории твердения низкообжиговых гипсовых вяжущих веществ. В чем их особенности?
13. Расскажите о процессе твердения высокообжиговых гипсовых вяжущих веществ?
14. Назовите основные характеристики гипсовых вяжущих.
15. Как влияет вид тепловой обработки двуводного гипса на удельную поверхность гипсового вяжущего?
16. Чем характеризуется тонкость помола гипса?
17. В чем выражается показатель нормальной густоты гипсового теста?
18. Чем характеризуется начало схватывания гипса?
19. Что означает конец схватывания гипса?
20. В каком возрасте испытывают стандартные образцы для определения марки гипса по прочности?
21. В каких условиях рекомендуется эксплуатировать изделия на основе гипсовых вяжущих веществ?

### 3. МОДЕЛИ И ГИПСОВЫЕ ФОРМЫ

Для художественной отделки фасадов, внутренних помещений зданий или их декорирования применяются гипсовые, цементные и другие отливки (репродукции) с произведений искусства (скульптуры) или каких-либо иных предметов, с которых вначале изготавливают модели и затем с них снимают формы.

#### 3.1. Модели и их виды

Важным элементом в изготовлении любых форм является выбор подходящей модели. *Моделями* называются оригиналы станковой и декоративной скульптуры, части лепного декора (порезки, модульоны, розетки, венки, гирлянды, пальметки, фризы, капители, базы, картуши, замковые камни, кронштейны, решетки перил и балясины балюстрад и т.п.), изделий и т.д., предназначенные для массовой репродукции с целью художественной отделки фасадов, внутренних помещений зданий или их декорирования и выполняется в разных материалах. Такими материалами являются различные цементы, гипс, фарфор, терракота, воск, различного рода пластмассы, а также некоторые металлы (бронза, медь, свинец, цинк и различные сплавы). Отлитые гипсовые копии, в свою очередь, могут служить моделями или, как их называют, *эталоном* для воспроизведения с них копий как из гипса, так из других материалов.

Модели, предназначенные к формовке и отливке гипсовых или цементных копий их, могут быть мягкие и твердые.

*Мягкие модели* – это декоративные украшения, вылепленные непосредственно из глины (пока она не засохла), пластилина, воска, а также и натуральные предметы природы – листья, цветы, фрукты, овощи, которые можно легко удалить из формы. Такого рода модели при весьма незначительном давлении на них деформируются: в одном случае, внешняя форма модели искажается, а в другом – через некоторое время она принимает свою первоначальную форму.

*Твердые модели* – это орнаменты или скульптурные изображения, отлитые из гипса, бронзы, фарфора, терракоты, а также вырезанные из дерева, кости, мрамора и других материалов.

### 3.2. Подготовка моделей к формовке

Вначале перед изготовлением формы необходимо провести общую подготовку модели вне зависимости от ее вида и состава. Для этого ее осматривают и устраняют обнаруженные дефекты. Имеющиеся трещины расширяют и заделывают гипсом, цементом, глиной и т.п. в зависимости от материала модели, т.е. пластичный раствор наносят в несколько слоев кисточкой до полного исправления поверхности и после высыхания зачищают шкуркой. Наплывы и раковины, обнаруженные на модели, счищают и заделывают. После устранения всех дефектов модель готова к формовке.

Кроме того, исходя из вида и состава модели, следует дополнительно подготовить ее к формовке. Например, *мягкие модели из глины* перед снятием гипсовой черновой формы пропитывают водой так, чтобы глина размякла, но не размылась водой. Опрыскивания водой осуществляют 2–3 раза или более из пульверизатора или спринцовки до тех пор, пока модель после стекания с нее воды не будет влажной и слегка матовой, но не блестящей. Излишки воды из углублений моделей удаляют мягкой кистью. Опрыскивание глиняного оригинала водой необходимо для быстрого оплескивания гипсов всего оригинала, так как по поверхности влажной глины гипс быстро и легко растекается, без пропусков и пузырьков.

С совершенно высохшей глиняной модели нельзя снимать гипсовую форму, так как с одной стороны – глина будет активно впитывать воду из гипсового раствора, задерживая его в порах, разбухать и увеличиваться в размерах. С другой стороны, гипс прилипнет к глине, не растекаясь по ней, преждевременно высохнет, станет рыхлым, пористым и это приведет к образованию пустот и пузырьков на поверхности оригинала, а также форма трудно будет сниматься с модели или совсем может быть испорчена.

Для снятия черновой гипсовой формы с *модели из пластилина или воска* ее покрывают тонким слоем шеллакового лака и затем мягкой кистью смазывают натуральной олифой или светлым чистым деревянным (оливковым) маслом.

Подготовку всех *твердых моделей* начинают с отделения выступающих частей (приборов), чтобы их формовать отдельно. Сначала намечают карандашом стыковую линию, по которой будут отрезать прибор, и затем его по ней отпиливают.

Перед формовкой *гипсовую модель* слегка нагревают и обильно пропитывают горячей олифой. Через некоторое время ее покрывают шеллаковым лаком, а затем тонким слоем смазки (например, смесью стеарина, керосина и вазелинового масла). Необходимость нагрева модели вызвана тем, что стеарин плохо впитывается холодным гипсом (в отличие от керосина и масла) и остается на поверхности, в результате чего форма прилипает к модели.

*Модели из полированного дерева и металла* перед формовкой покрывают тонким слоем шеллакового лака за 4–5 раз, *модели из неполированного дерева* – пеной из светлого мыла.

При формовке *плоские модели* крепят к поверхности: на гипсовом растворе – к мраморной доске, толстому стеклу или специально сделанной гипсовой плите; на винтах – к деревянным щитам.

### 3.3. Виды гипсовых форм и требования к ним

Главной задачей при формовании изделий является получение точного рельефа с модели, а для этого необходимо изготовить форму для воспроизведения необходимого числа копий. В зависимости от вида материала модели, условий использования и требуемого числа готовых изделий формы изготавливают различных видов и сложности.

В настоящее время распространены следующие виды гипсовых форм: черновая, чистая (кусовая) и получистая (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Виды гипсовых форм

В основном *черновые формы* делают с мягких моделей и используют только для получения одной гипсовой отливки, далее форму разбивают или расколачивают, поэтому их еще называют форма в расколку. *Чистые (кусовые) формы* многократно используют для отливки в них изделий из гипса,

цемента, керамики и, как правило, их изготавливают с твердых моделей. *Получистые (кусковые) формы* снимают с мягких моделей.

В основном все формы состоят из раковины. **Раковина** – это общее название наиболее крупных частей формы. В зависимости от вида и состава формы она имеет разное назначение. В черновых формах раковины – это каждая отдельная часть формы. В чистых (кусковых) она представляет собой часть формы, куда собирают и укладывают куски, из которых состоит сама форма. В клеевых, формопластовых и других подобных формах раковины являются кожухом, которые снимают с плоских моделей.

По степени сложности все формы бывают *простые* и *сложные*. Первые состоят из одной части раковины. Вторые содержат несколько отъемных и отдельно сформованных раковин с большим числом кусков, такие формы снимают с орнаментированных моделей. Еще бывают средней сложности, которые состоят из нескольких раковин, такие формы снимают с объемных гладких моделей.

Для уменьшения расширения объема гипса при твердении, так как это может привести к последующему короблению кусков, гипсовый раствор можно готовить на известковой воде.

Готовые гипсовые формы должны удовлетворять следующим требованиям:

- во всех своих частях одинаковые свойства и достаточная механическая прочность;
- гладкая и прочная рабочая поверхность;
- достаточная всасываемость и длительный срок службы;
- равномерно адсорбировать влагу из изделий;
- сохранение неизменными собственных размеров и очертаний в процессе длительной эксплуатации;
- передача изделиям тончайших деталей рельефа и рисунка своих рабочих поверхностей;
- по своей конструкции не быть сложными в изготовлении и при эксплуатации;
- не загрязняться коллоидными частицами глинистого вещества и хорошо противостоять действиям электролитов, всегда имеющихся в массе.

Такие требования к гипсовым формам во многом объясняются условиями их эксплуатации:

- непосредственный контакт с влажной средой;
- выщелачивающее воздействие дисперсионной среды шликера, содержащихся в ней электролитов и т.д.;
- частая смена температурных условий, особенно при эксплуатации форм на поточных автоматизированных линиях.

Качество гипсовых форм, в свою очередь, зависит от многих факторов: от наличия двухводного ангидрита в гипсе, количества посторонних включений, способа изготовления гипса, степени его помола и способа изготовления гипсовых форм. Так, например, формы, предназначенные для литья, должны обладать хорошей водопоглощаемостью и иметь удовлетворительную прочность, а формы для пластического формования изделий — повышенной прочностью при удовлетворительном водопоглощении.

### **3.4. Черновые формы**

Черновая форма состоит из двух слоев гипсового раствора. Раствор для первого слоя подкрашивают, добавляя 3–7 г краски на 1 л воды (большее количество краски размягчит гипс, и он будет плохо раскалываться). Подкрашивание раствора осуществляют для отличия первого слоя формы (оплеск) от модели и от второго неокрашенного или поддерживающего слоя. По консистенции раствора оба слоя одинаковы. При этом гипсовый раствор должен быть густым, но в то же время обладать достаточной текучестью. Толщина первого слоя (2–8 мм) зависит от размера формуемой модели. Толщина второго слоя должна быть для небольших моделей не менее 30 мм, для больших — не менее 50 мм.

Когда при расколке формы доходят до окрашенного слоя, соблюдают особую осторожность, чтобы не повредить модель. Часто поддерживающий слой армируют металлической или деревянной арматурой для того, чтобы при расколке братья за концы выпущенной арматуры и отрывать этот слой от оплеска.

Черновая гипсовая форма в зависимости от размеров модели, ее рельефа и конфигурации может быть простой (цельной) или сложной (из двух и более раковин).

### 3.4.1. Простые черновые формы

Простые черновые формы выполняют из гипса на ровном щите с гипсовым или глиняным грунтом (рис. 3.2, а). Модель из глины устанавливают на подставке или верстаке вертикально, горизонтально или с небольшим наклоном назад. При этом смазывают деревянные части щита и грунта смазкой. Модель подготавливают к формовке как описано в п. 3.2.

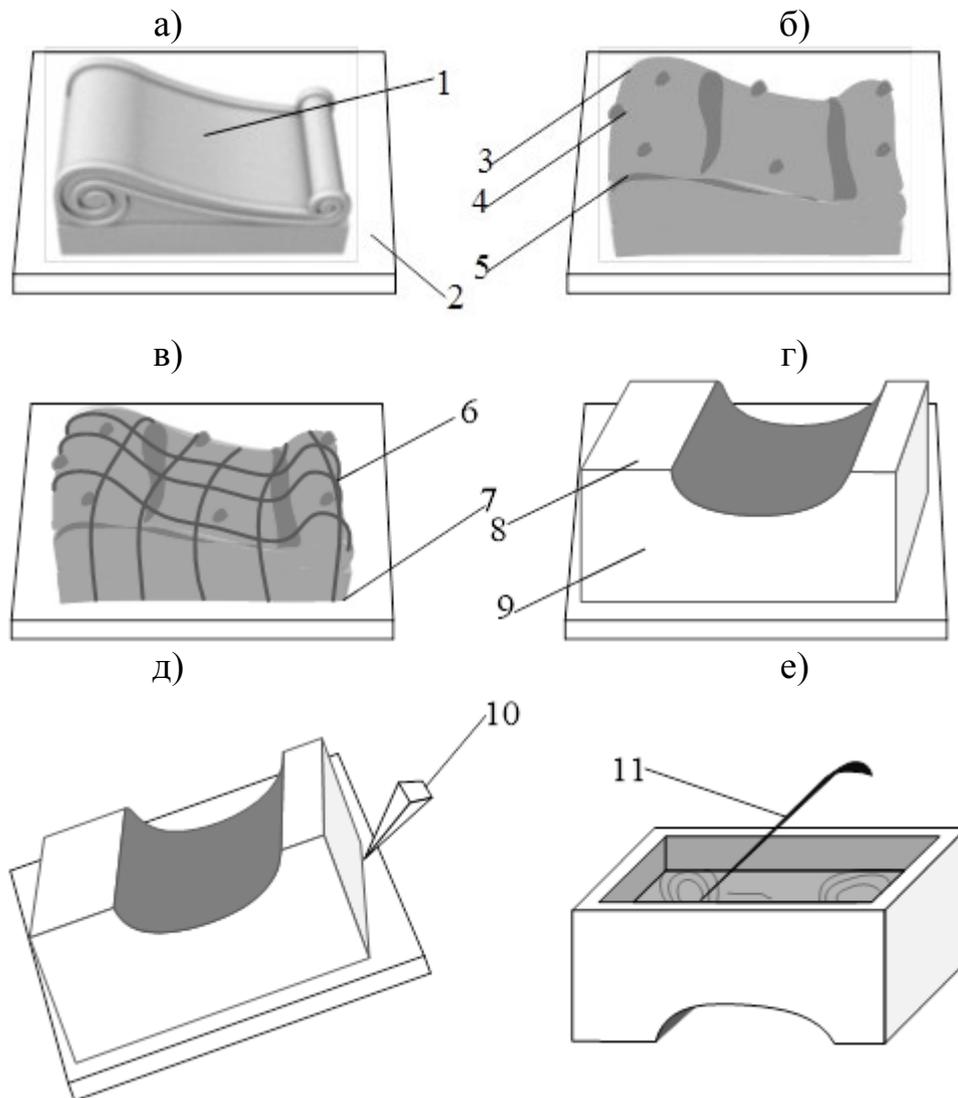


Рис. 3.2. Изготовление простой черновой гипсовой формы: а – глиняная модель, укрепленная на щите; б – нанесение первого слоя из цветного гипсового раствора; в – укладка и крепление арматуры; г – нанесение второго слоя из неокрашенного раствора; д – отделение формы от модели; е – удаление остатков глины из формы; 1 – глиняная модель; 2 – щит; 3 – слой цветного гипса; 4 – бугорки; 5 – насечка поверхности; 6 – примораживание гипсовыми растворами; 7 – арматура; 8 – плоскость опоры при переворачивании; 9 – второй слой гипсового раствора; 10 – деревянный клин; 11 – скребок

Затем на модель быстро и равномерно наносят (окачивают или оплескивают) ровный слой цветного гипсового раствора (оплеск) (рис. 3.2, б) с помощью лопатки. Гипс растекается, оставляя на модели очень тонкую пленку, через которую может просвечиваться глина. Далее на эту пленку постепенно наносят гипс – до образования на ней слоя не менее 3 мм толщины. При этом поверхность гипса не должна быть матовой, что указывает на то, что глина впитала в себя не только воду, которой была обрызгана, но и из нанесенного на нее гипса. Тонкая матовая гипсовая пленка, благодаря своей пористости и рыхлости, крепко пристает к отливке и может быть удалена лишь отскабливанием, что приведет к порче изделия. Когда раствор только начнет схватываться, поверхность насекают или процарапывают, в результате чего образуются небольшие суживающиеся книзу бугорки 4, которые улучшают сцепление первого слоя со вторым. Чтобы форма была прочнее, на первый слой до его затвердения укладывают каркас (рис. 3.2, в) из тканевой сетки, стеклоткани и т.п. (для небольших форм) или арматурной проволоки 6 (для больших).

На плоских и гладких местах модели слой гипса может быть несколько толще, чем на выступающих деталях. Однако в общем цветная окатка (оплеск) должна быть равномерной, чтобы сохранить общий вид модели, что значительно облегчит работу при расколке.

Второй неокрашенный слой, который должен будет поддерживать тонкий верхний слой, наносят после схватывания первого слоя (рис. 3.2, г), чтобы между слоями не оставалось пустот, иначе при извлечении мягкой модели из формы первый слой отстанет от второго и форма будет испорчена.

Сразу после затвердения второго слоя (через 15 мин после окончания заливки) форму осторожно отделяют от модели (рис. 3.2, д). Чтобы форма легче снималась, сверху на нее и встык между нею и щитом наливают воду. Затем между щитом и гипсовой формой осторожно вводят деревянные клинья 10. Подбив слегка деревянный клин и немного расшатав форму, клин вынимают и в образовавшееся отверстие вновь наливают немного воды. Затем опять вставляют клин и повторяют вновь всю операцию до полного отделения формы от модели.

После всех операций полученную форму готовят для отливки. Ее осторожно очищают от оставшейся глины (рис. 3.2, е) деревянными стеками или скребками 11 и выбирают все комочки оставшейся глины. Следы глины на

форме удаляют с помощью самой глины: комком мягкой глины прокатывают оставшийся в форме тонкий слой глины. Далее форму тщательно промывают водой с помощью спринцовки, удаляя мельчайшие частицы глины, засоряющие рельефные участки модели. Затем форму промывают струей воды из крана, удаляя незаметные на глаз частички глины, особенно осторожно глубокие места (мягкой кистью), чтобы не повредить стенки форм. После этого еще раз осматривают форму, исправляют дефекты и приступают к наливке в нее гипсового раствора – отливке модели. Если долго держать форму незалитой, она покорежится.

Перед тем как залить гипсовый раствор, форму слегка смазывают свежим березовым щелоком (или стеариново-керосиновой смазкой, подсолнечным маслом), который, заполняя поры гипсовой формы, делает ее поверхность гладкой и образует тонкую жировую пленку. Эта пленка облегчит отделение формы от гипсовой модели. Еще лучше сначала покрыть ее тонким слоем спиртового лака, а затем смазкой, что обеспечит легкое снятие модели с формы.

#### ***3.4.2. Сложные черновые формы***

Сложные черновые формы делают разъемными – из двух и более частей (раковин). Части модели, значительно выступающие от основного объема (приборы), формуют отдельно.

При разбивке модели на раковины делят форму на такое минимальное число раковин и приборов, которое позволит легко удалить глину (пластилин, воск) и каркас из всех углублений формы и получить форму, точно воспроизводящую оригинал. Места соединения раковин должны проходить по неответственным и наименее сложным частям модели, где они легче и быстрее могут быть зачищены, и быть по возможности малозаметны для глаз. Например, при формовке порезки стыки должны проходить в месте соединения листов порезки. Стык частей должен быть по возможности ровным, т. е. иметь меньше углов, которые могут легко обломиться.

***Мягкие плоские модели любого рельефа*** (например, фриз, скульптурный орнамент больших размеров), вылепленные на щите или непосредственно на стене, формуют в вертикальном положении (рис. 3.3). Из-за увеличения нагрузки перед началом работы необходимо дополнительно укрепить щит 2 (рис. 3.3, а), на котором находится модель 1. Далее модель делят на части,

удобные для формовки, смачивают водой и вставляют металлические пластины 3 (рис. 3.3, б). Площадь каждой отформовываемой части должна быть не более 1 м<sup>2</sup>, иначе форма может покоробиться.

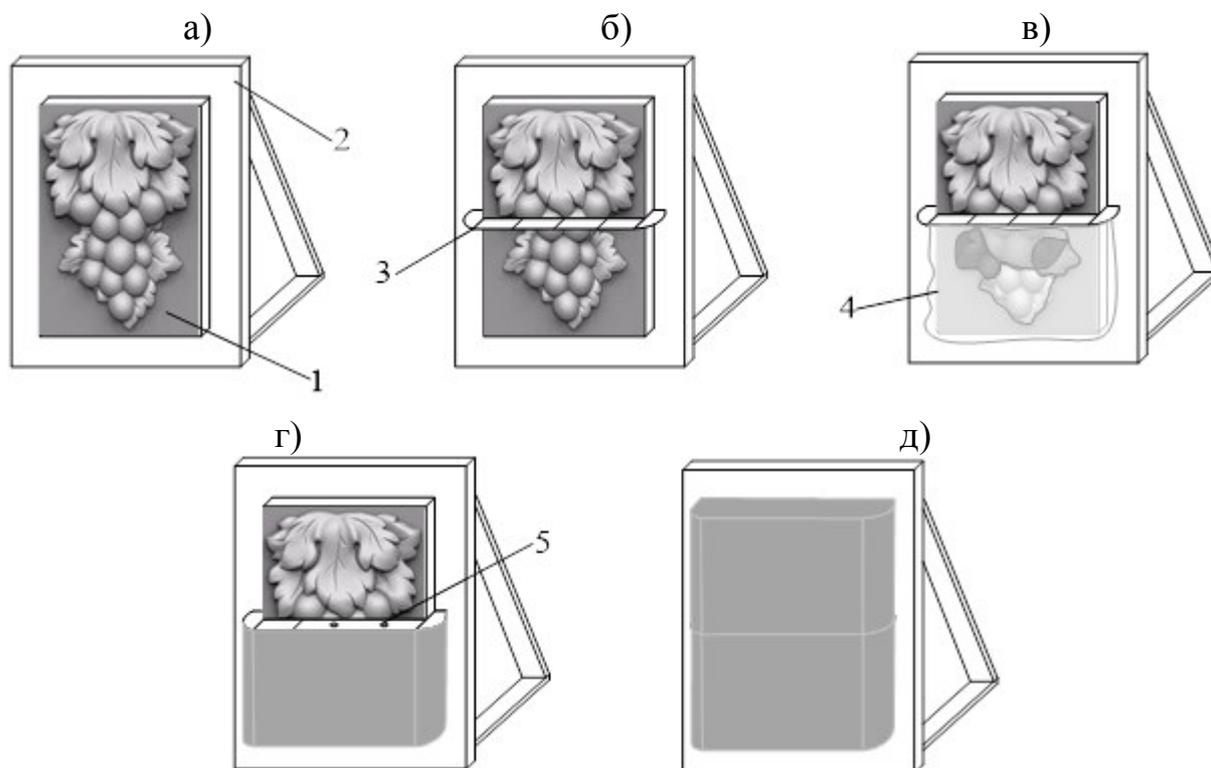


Рис. 3.3. Вертикальная формовка плоской модели при изготовлении сложной черновой формы: а – модель, закрепленная на щите; б – разделение модели на половинки для формовки; в – первый оплеск нижней половины модели; г – удаление разделительных пластин и устройство замков в готовой раковине; д – готовая форма из двух раковин; 1 – модель из глины; 2 – щит; 3 – разделительные пластины; 4 – цветной гипсовый раствор; 5 – замки

Вначале при изготовлении формы приступают к формовке нижней половины модели, нанося первый окрашенный слой гипса (рис. 3.3, в). На нем укрепляют проволоки для каркаса и поверх них накладывают второй бесцветный гипсовый раствор. Толщина второго слоя гипса, например, при размере формуемого рельефа в 0,75×0,75 м должна быть не менее 2–2,5 см. При увеличении или уменьшении габаритов рельефа толщина его пропорционально изменяется.

После изготовления нижней половины модели пластины вынимают и устраивают замки 5 на ней (рис. 3.3, г). Затем места стыков смазывают жидким глиняным раствором и прокладывают поверх шва глиняную полосу толщиной 2–3 мм, чтобы по окончании формовки всей модели лучше были

видны швы между всеми частями. Далее приступают к формовке верхней половины (рис. 3.2, д) аналогично нижней.

Через 15 мин после окончания заливки осуществляют разъем формы, предварительно смочив ее водой. Первой снимают верхнюю часть формы, расшатывая с помощью клиньев. Предохраняя от коробления, снятые части устанавливают на ребро на деревянные подкладки, очищают, смазывают и подрезают.

При черновой формовке *мягкой объемной модели* раковины с задней части модели делают, возможно, более плоскими, размер их не должен превышать более одной трети объема модели. При этом легче и безопаснее производить разъемку формы, шов получается на втором плане отливки и его легче подчищать, так как задняя часть любой модели всегда имеет более простую форму.

По намеченным линиям границы раковин вставляют в модель металлические пластины (из стали, жести, фольги) длиной 20–70, шириной 20–50, толщиной 0,25–0,5 мм (рис. 3.4, а). Пластины *1* должны быть очищены от грязи и ржавчины с ровными краями, покрыты или смазаны для лучшего отставания от гипсовой формы.

Пластины необходимо вставлять с одного раза, углубляя их в глину (пластилин) не более чем на 5 мм строго перпендикулярно поверхности модели, причем они должны перекрывать друг на друга приблизительно на 1–2 мм и без зазора. Если пластины вставить под углом к поверхности модели, то соответствующее стыку место разъединения формы будет непрочным, кроме того форма будет крошиться, а у самой гипсовой отливки получатся толстые швы.

В случае формования мелких предметов или при необходимости образовать стык, например, на пальцах рук статуэток небольших размеров, на мелких складках платья статуэтки, а также во всех случаях, когда металлическую пластину нельзя вставить в модель, делают пластины из того же материала, что и модель (глина, пластилин, воск), шириной 10–20 и толщиной до 2 мм. Использование металлических пластин в данных случаях исключено, так как происходит сминание мягкого материала модели (глина, пластилин, воск) и это место на отливке получается толще, чем на модели. Кроме того, прорезанные на большую глубину тонкие места модели могут отвалиться.

При обрызгивании глиняной модели водой места крепления пластин нельзя обильно смачивать во избежание отпадения их в момент оплеска гипсом.

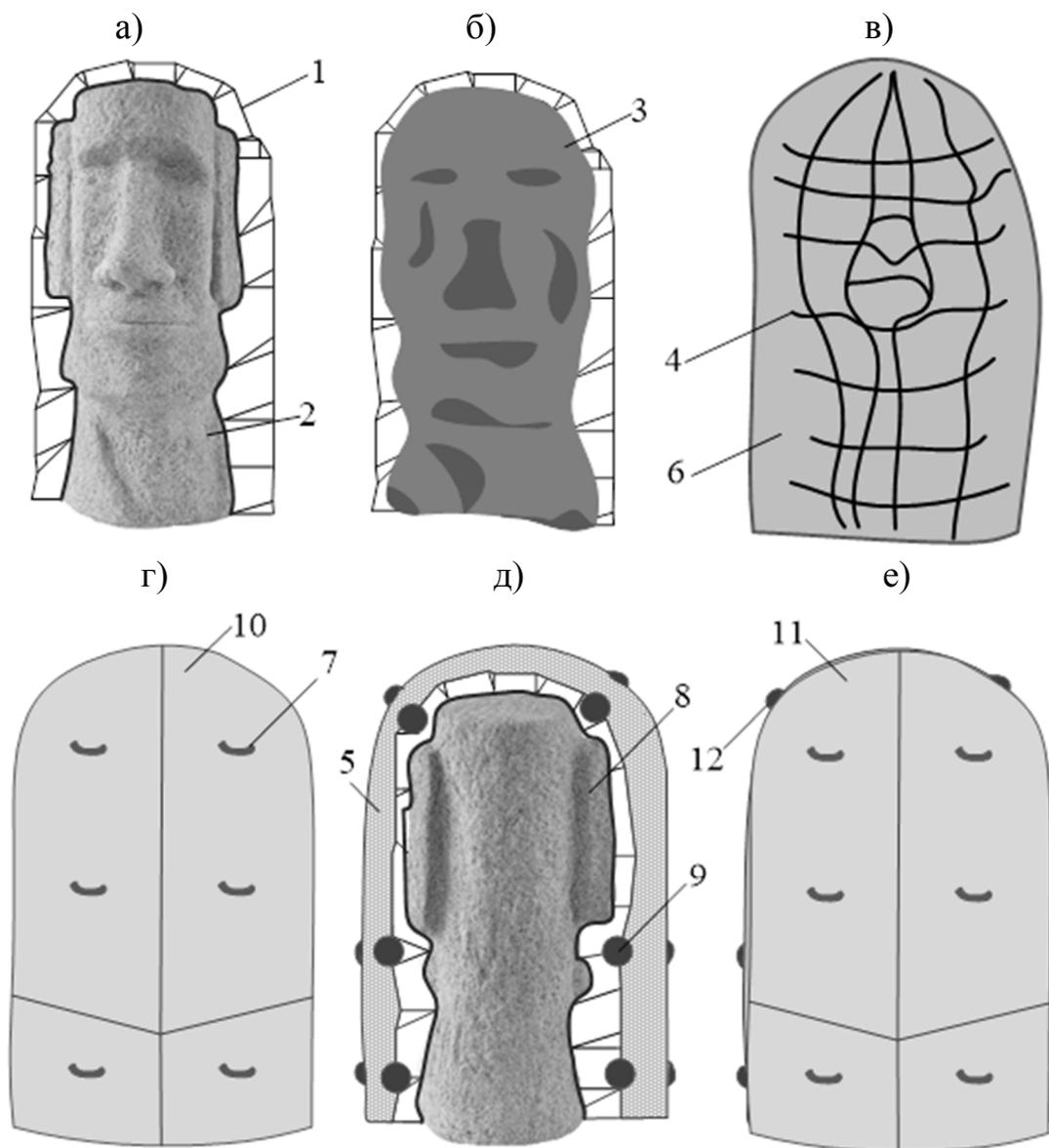


Рис. 3.4. Изготовление сложной черновой гипсовой формы с объемной модели: а – прокладка разделительных пластин; б – нанесение первого слоя – оплеск передней стороны цветным гипсом; в – вымазывание усенков и укладка каркаса; г – нанесение второго слоя передней стороны раковины; д – выемка пластин и устройство замков; е – законченная задняя раковина формы; 1 – разделительные пластины; 2 – модель из глины; 3 – цветной гипсовый раствор; 4 – каркас; 5 – усенки передней раковины; 6 – неокрашенный гипсовый раствор; 7 – скобы; 8 – модель сзади; 9 – замки; 10 – передняя раковина; 11 – задняя раковина; 12 – значки из глины

В некоторых случаях модель можно разделить на части леской или суровой ниткой. В месте разъединения формы прокладывают леску (нитку) и набрасывают на нее валик гипсового раствора толщиной, равной толщине

формы. В момент затвердевания гипса леску (нить) берут за оба конца, разрезают ею гипсовый валик и на отлитой из гипса модели получаются почти незаметные швы.

После деления модели на раковины переднюю часть модели (рис. 3.4, б) оплескивают цветным гипсовым раствором, при этом заднюю часть модели предохраняют от попадания раствора мягкой бумагой. Консистенция цветного гипсового раствора и приемы работы аналогичны изготовлению простой черновой формы.

Если оплеск невозможно выполнить за один раз, например, вследствие габаритов модели, его делают по частям, начиная снизу. Оплеск каждой части должен заканчиваться четкой границей определенной толщины и при оплеске последующей верхней части нельзя допускать, чтобы стекающий гипс образовывал на нижней части наплывы. Излишки гипса удаляют лопаткой.

После окатки всей модели готовят бесцветный гипсовый раствор для второго слоя. Дав ему слегка загустеть, накладывают его лопаткой на края передней раковины и делают *усенки 5* (рис. 3.4, в) – это края или грани раковин, соприкасающиеся друг с другом на стыках, которые должны выступать на 2–3 см над воткнутыми пластинами. При устройстве усенок накладываемый гипсовый раствор плотно прижимают к цветному слою, чтобы усенки не отошли от него при снятии формы. Далее на переднюю часть модели устанавливают арматурный каркас *4* и наносят второй (бесцветный) слой так же, как было описано выше (рис. 3.4, г), а усенки после загустевания гипсового раствора осторожно подчищают ножом заподлицо с пластинами. Последние осторожно вынимают и на усенках в нескольких местах высверливают лепной лопаткой полукруглые углубления – *замки 9* (рис. 3.4, д). При наливке задней раковины на этих местах образуются соответствующие бугорки в виде грибков, утолщающихся кверху. Замки обеспечивают правильное соединение раковин, не допуская их смещений, так как при соединении формы выступы на одной раковине входят в углубления другой.

Для легкого разъема формы и отчетливой видимости линии стыков раковин необходимо усенки передней раковины смазать жидким глиняным раствором с помощью кисти.

Заднюю раковину делают подобно передней (рис. 3.4, е). При этом нельзя медлить с ее заливкой, так как гипс активно впитывает влагу из от-

формованной передней части глиняной модели, что может привести к ее усыханию и уменьшению в объеме. Если это произойдет, то на отливке появится «заскок» – это несовпадение по линии шва уровня обеих сторон отливки. В результате этого при формовке особо сложных моделей на заливку передних раковин требуется более 2–3 ч, по окончании выделывания усенок передней раковины заливают первым слоем гипса задние раковины, а затем наносят второй слой гипса как на переднюю, так и на заднюю раковины одновременно.

Для исключения подсыхания заднюю часть модели во время работы над передней раковиной слегка смачивают водой.

Форму с модели снимают сразу после затвердения гипса, так как он впитывает из модели воду, в результате чего форма размягчается и искажается. Стыки раковин очищают от натеков ножом и смачивают водой. Форму раскрывают с помощью введения клиньев в места между замками, отмеченные до наливки второй раковины глиняными значками 12. Остатки глины из формы удаляют скребками, стеками или промывают водой.

**Формовка моделей из воска и пластилина.** С моделей, вылепленных из *твердых сортов пластилина или воска*, черновые формы снимают редко, так как они плохо отделяются от этих материалов. В этом случае во избежание повреждения черновую форму перед снятием прогревают: пластилин или воск размягчается, и форма легче отходит.

Модели из *мягкого пластилина* перед формовкой или опрыскивают керосином, или покрывают жидким гипсовым раствором с помощью мягкой кисти, иначе первый слой гипсового раствора будет скатываться с пластилина из-за его жирности, образуя множество пузырьков на поверхности модели. Формы с моделей из мягкого пластилина надо готовить быстро во избежание пропитывания пластилином гипса. Снятую с модели и очищенную от пластилина форму промывают горячей водой.

### 3.5. Чистые или кусковые формы

При формовании твердых моделей в основном используют чистые или кусковые формы, которые также делятся на простые и сложные. Простые чистые формы состоят из нескольких кусков, которые могут быть уложены в общую раковину (кожух) в требуемом порядке. Сложные – из множества кусков, укладываемых в два кожуха (при отливке изделий из гипса) или в

один кожух (при отливке изделий из цемента, глины и т.п.) в заданной последовательности. В зависимости от размера и сложности модели число кусков формы варьируется от 1 до 100 шт. В результате разметки числа кусков чистой формы учитывают направление их оптимального съема – кверху, книзу, вбок.

Куски не должны быть большими, иначе их трудно снять с отлитого изделия и, высыхая, они сильно коробятся. Необходимо отметить, что вне зависимости от величины куска, его следует закладывать в один прием с одного замеса гипсового раствора во избежание его расслоения, т.е. один кусок нельзя заливать несколькими частями или порциями гипса. Торцевые кромки (усенки) срезают под углом  $45^\circ$  с состыковкой их под углом  $90^\circ$  (принцип соединения на ус), а самим кускам придают конусообразную форму, чтобы облегчить снятие кожуха с кусков. Готовые куски обязательно пронумеруют, причем кусок, снятый с отливки первым, и в кожух укладывают первым. Они должны плотно лежать в кожухе и легко из него выниматься.

### ***3.5.1. Простые чистые формы***

Простая чистая форма *с призмы или куба* состоит из нескольких кусков, помещенных в кожух (рис. 3.5). Для этого модель *1* укрепляют на предварительно смазанной подставке или щите *3* (гипсовая плита, деревянном щите, ДСП и т.п.) и покрывают смазкой с помощью кисти *4* всю поверхность модели (рис. 3.5, а). На границах закладываемого куска делают глиняные перегородки *5* (рис. 3.5, б), намечающие края формуемой части модели.

Гипс, начинающий загустевать, быстро накладывают на торцевую поверхность модели (рис. 3.5, б), т.е. формируют первый торцевой кусок. Ему придают пирамидальную форму с помощью лепной лопатки *6*. Аналогично закладывают второй торцевой кусок с противоположной стороны модели.

Через 15–20 мин отформованные куски *7* снимают, тщательно зачищают и обрезают так, чтобы усенки точно совпадали с угловыми гранями модели. Затем торцевые куски устанавливают на место и смазывают их боковые грани. Грань ребра срезают под углом, за который удобно взять каждый кусок при снятии его с модели. Когда границы куска выровнены, его снимают и очищают края, чтобы швы получались не грубые, а едва заметные. Чем чище будут обработаны границы куска, тем лучше и плотнее к нему будет подхо-

дить соседний кусок, а самое главное, при отливке – особенно многократной – хорошо обработанные куски не будут крошиться.

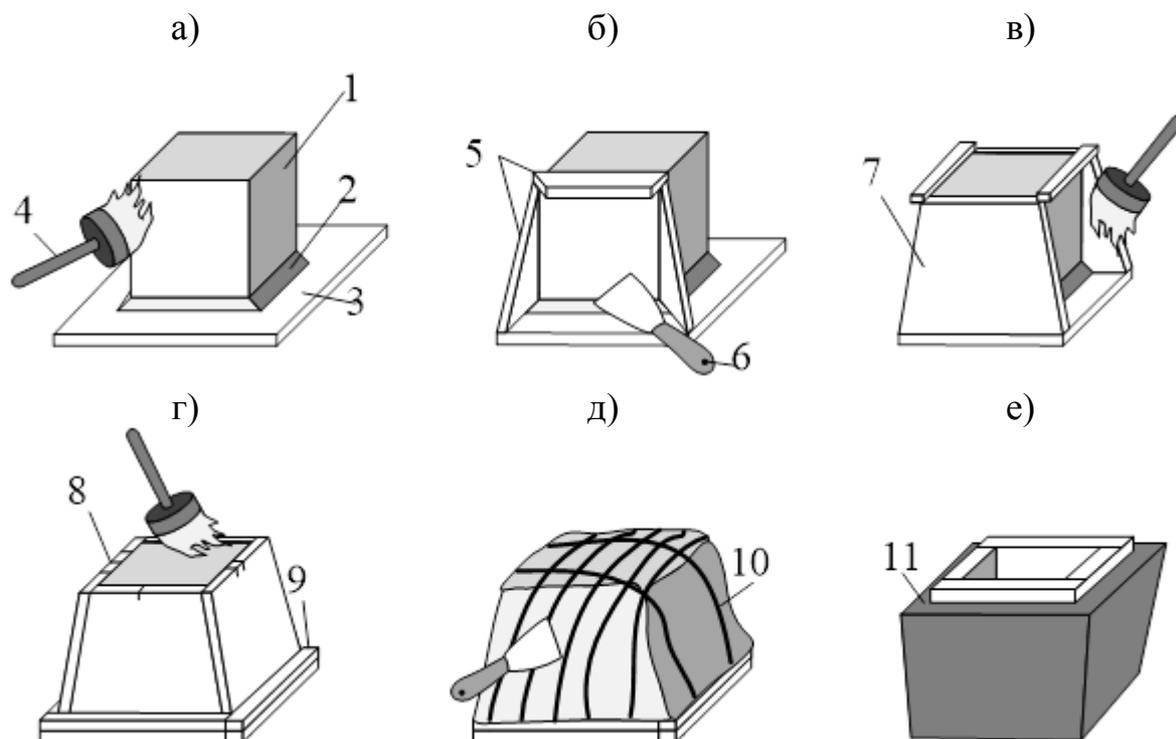


Рис. 3.5. Снятие простой чистой формы с куба, состоящей из четырех кусков: а – установка модели; б – снятие торцевого куска формы; в – подготовка к отливке боковых кусков формы; г – нанесение замков, установка ограничителей и подготовка к изготовлению кожуха; д – изготовление кожуха; е – куски формы в кожухе; 1 – модель; 2 – глина или пластилин для крепления модели к щиту; 3 – щит; 4 – кисть; 5 – глиняные перегородки; 6 – шпатель или лопатка; 7 – торцевой кусок; 8 – замки; 9 – ограничители; 10 – арматура; 11 – кожух

Боковые куски формуют аналогично торцевым (рис. 3.5, в). На всех кусках ставят соответствующие очереди формирования номера и устраивают замки 8 (рис. 3.5, г). После этого приступают к изготовлению кожуха (раковины). По периметру всех кусков на  $1/4$  их высоты, отмеряя от уровня подставки, устанавливают ограничители 9. Поверхности последних и всех кусков покрывают сначала смазкой, а затем жидким гипсовым раствором, на который в шахматном порядке на расстоянии 25 см друг от друга закладывают арматуру 10 в виде металлических стержней (проволоки и т.д.) толщиной 5–6 мм (рис. 3.5, д), выгибая их по профилю кусков. Для облегчения кожуха в качестве арматуры можно использовать смоченную в гипсе армирующую ткань (марля, стеклоткань и т.п.).

На арматуру наносят второй более густой гипсовый раствор толщиной до 4 (при закладке армоткани) или 5 см (при закладке стержней, проволоки и т.п.), который тщательно разравнивают и с помощью лопатки придают окончательную форму. Толщина кожуха (раковины) должна быть примерно одинаковой по всей его поверхности и не превышать толщину кусков. Однако в углубленных местах кожуха наращивают толщину гипсового слоя для избежания коробления.

После затвердения гипсового раствора осторожно удаляют ограничители 9 и снимают кожух с кусков, легонько постукивая деревянным молоточком снизу-вверх по кожуху, а в некоторых случаях – с помощью расклинивания. Далее снятый кожух переворачивают, укладывают на ровную поверхность, чтобы он лежал плотно, и присыпают тальком для более легкого отделения от него кусков. Затем от модели начинают отделять куски формы, которые покрывают шеллаковым лаком и укладывают в кожух в обратном порядке, т. е. сначала куски с длинных сторон модели, а затем с торца. Кусковая форма, смазанная и собранная в кожух, готова к отливке в ней изделий (рис. 3.5, е).

### **3.5.2. Сложные чистые формы**

Изготовление сложной чистой формы начнем с рассмотрения вертикальной формовки **простейшего рельефа плоской модели**, например, *розетки 5* диаметром 30 см (рис. 3.6). Ее крепят жидким гипсовым раствором на гипсовую плиту нужных размеров (рис. 3.6, а). После этого замазывают швы гипсом или глиной, чтобы не было расщелин в местах соединения плиты с розеткой, и разравнивают их.

На небольшом расстоянии от модели лопаткой сверлят в плите лунки 6 для образования на кусках замков. Причем их располагают на разном расстоянии друг от друга, чтобы впоследствии любой кусок можно было вставить только на свое место. Далее модель и плиту с лунками тщательно очищают от крошек гипса, покрывают 2–3 раза спиртовым лаком, просушивают и покрывают смазкой. Как только смазка немного загустеет (подсядет), для первого куска делают ограничители 7 с трех сторон (два прямолинейных и один криволинейный, которые на рисунке обведены жирной линией). Их рекомендуется изготавливать из глиняных пластинок. Ограничители должны находиться немного дальше, чтобы после схватывания гипса, сняв кусок, можно было обрезать его рваные или кривые грани, придав ему требуемую форму.

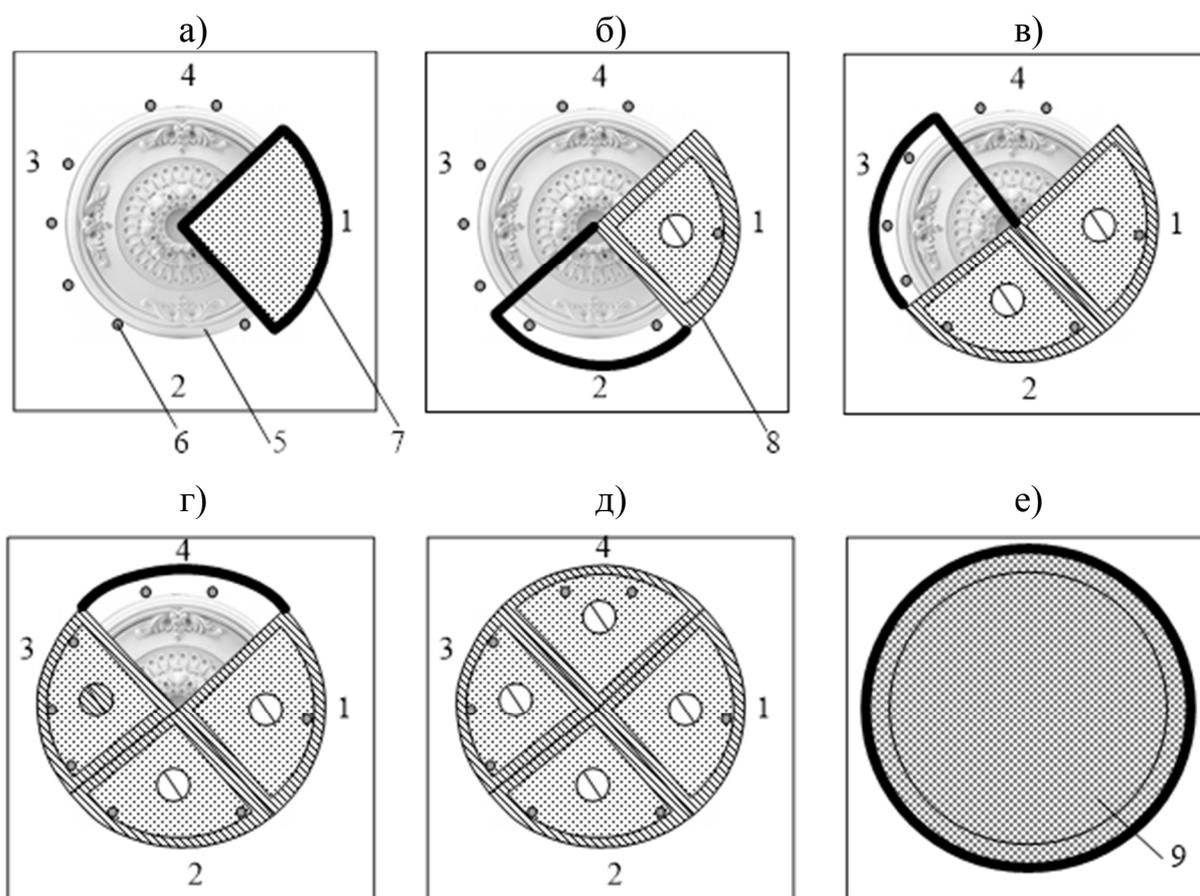


Рис. 3.6. Изготовление сложной кусковой формы с розетки: а – подготовка модели и закладка первого куска; б – первый кусок с обрезанными кромками; в – отливка второго куска формы; г – отливка третьего куска формы; д – готовые куски формы с лунками и петлями; е – установка кожуха; 1–4 – куски; 5 – модель; 6 – лунки под замки; 7 – ограничители (опалубка); 8 – первый кусок; 9 – кожух

Приготовленный гипсовый раствор заливают в огороженное пространство, тем самым формируя первый кусок.

В крупные или сложные куски закладывают арматуру, состоящую из двух проволочек сечением 5–6 мм, и проволочные петли (по две на кусок), с помощью которых будут снимать куски с модели и с готового изделия. После схватывания гипса ограничители убирают (рис. 3.6, б), снимают кусок с модели и обрезают его грани со всех сторон наискось, чтобы они не мешали изъятию следующих кусков. Верхней части куска придают необходимую форму для легкого его извлечения из кожуха и просверливают в ней одну лунку, соответствующую номеру куска. Затем модель и кусок очищают от глины и крошек гипса и покрывают смазкой одну грань первого куска, к которому будет прилегать второй кусок.

Для формовки второго и третьего кусков делают по два ограничителя, а для четвертого – только один (рис. 3.6, в–д). Причем в каждом последующем куске просверливают то количество лунок, номеру которого он соответствует (второй кусок – две лунки, третий – три и т.д.). Благодаря этому они в кожухе образуют замки, являющиеся метками для укладки кусков на место, и в нем куски формы будут находиться строго на своих местах. Подготовленные куски и их грани смазывают, затем сами куски укладывают на свои места и дополнительно покрывают смазкой гипсовую плиту. После этого изготавливают кожух, как было описано в простой чистой форме.

После срезки граней кусков на конус между ними останутся треугольные пазы, а в кожухе от них останутся как бы бортики, в которых будут находиться и прочно удерживаться куски. Далее куски устанавливают на модель, а на куски – кожух, сверху на него кладут груз или связывают веревками и оставляют так на несколько часов для предотвращения коробления. Куски необходимо хорошо просушить, пропитать горячей олифой и покрыть с внутренней стороны лаком для долгой службы формы.

Формовка сложной чистой формы с *более разнуровневого и рифленого рельефа* имеет свои особенности (рис. 3.7).

В первую очередь закладывают боковые куски по краям модели в последовательности, приведенной на рис. 3.7, а. Такой порядок обусловлен тем, что каждый новый кусок закладывают рядом с уже затвердевшим и обработанным куском. В период твердения заложенного куска закладывают другой кусок на противоположной стороне модели. К концу формовки данного куска гипсовый раствор предыдущего затвердеет, и его снимают от модели, усенки обрезают лепным ножом наискось. Обработанный кусок укладывают на модель, при этом смазывают грани кусков. Если куски крупные или сложные, то в них закладывают арматуру и проволочные петли. Кроме того, нижние куски во избежание сдвига скрепляют скобами *A* из стальной проволоки диаметром 6–10 мм. Закончив с боковыми кусками, приступают к формовке внутренних кусков с *13* по *16* (рис. 3.7, б), которые также делают с проволочными петлями. Далее идет закладка более ровных кусков с *17* по *20* (рис. 3.7, в) и в последнюю очередь формуют самую выступающую часть картины (рис. 3.7, г).

В каждом уложенном куске делают замки-метки для определения его места в кожухе и устраняют все неровности, которые могут помешать сня-

тию кожуха. Затем куски смазывают и приступают к наливке гипсового кожуха, как описано выше.

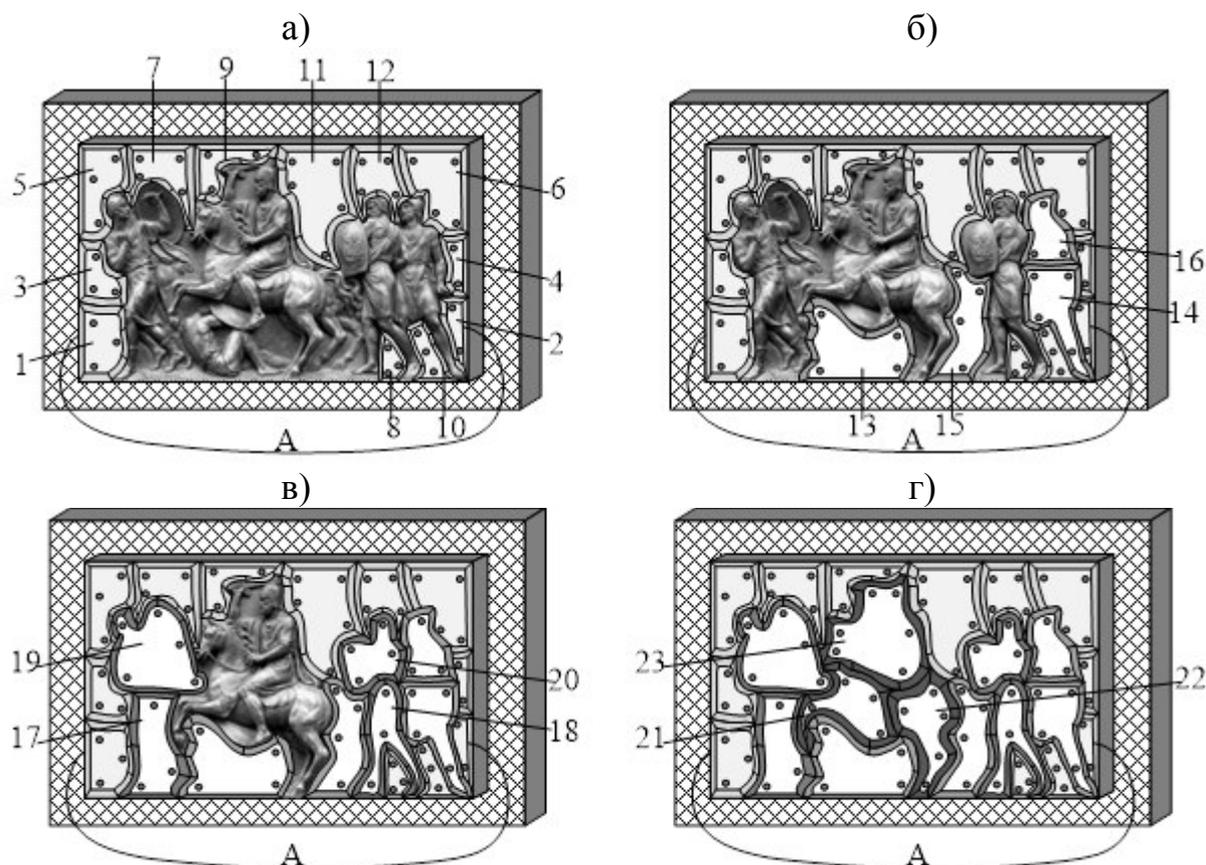


Рис. 3.7. Снятие формы со сложного рельефа: а – формовка боковых кусков; б – формовка внутренних кусков; в – формовка более уровневых кусков; г – формовка самой выступающей части рельефа; 1–23 – последовательность заложения кусков; А – скоба

Снятый готовый кожух укладывают на ровную поверхность и внутреннюю часть его с помощью щетинной кисти слегка присыпают тальком. Куски с модели снимают в порядке, обратном их укладке. Каждый снятый кусок обрабатывают и плотно укладывают в кожух в соответствии с ранее сделанными замками-метками. Если куски плотно не укладываются, их вытаскивают, тщательно кистью прочищают кожух и снова вкладывают куски в кожух. Собранный форма и кожух перед отливкой изделий должны хорошо просохнуть.

Выполнение *сложной формы с объемной модели* зависит от используемого материала, рельефа и габаритов готового изделия. В качестве примера рассмотрим изготовление форм с моделями статуэтки и балясины.

Перед началом формовки *модель статуэтки* (рис. 3.8) делят на две половины – переднюю и заднюю. Это разделение осуществляют преимуще-

ственно по самым высоким и гладким местам. В первом случае для отсутствия очень тонких усенок на закладываемых кусках, а во втором – для меньшей обработки швов на готовом изделии.

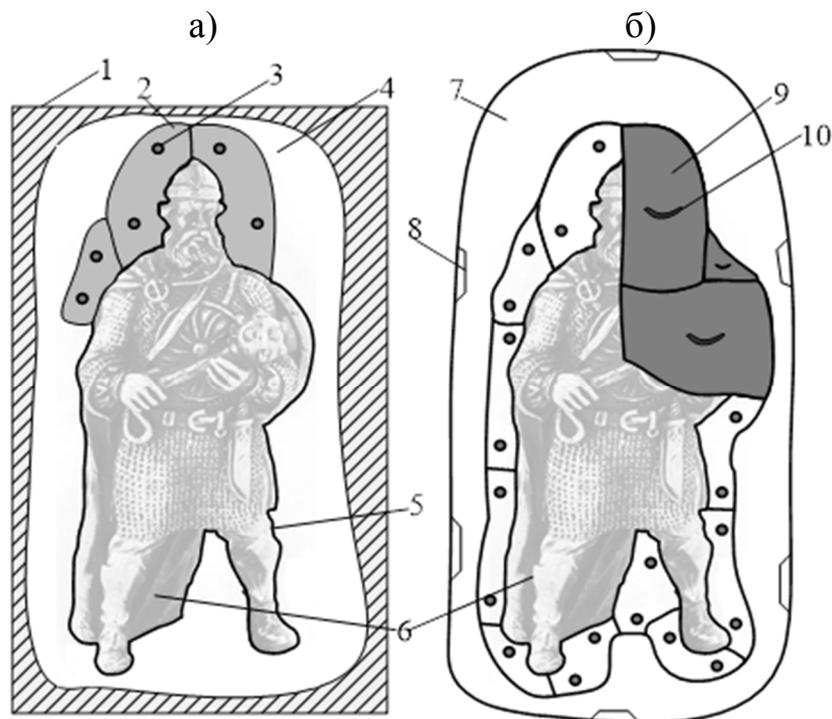


Рис. 3.8. Изготовление сложной чистой формы с модели статуэтки:  
 а – формовка первой половины формы; б – закладывание кусков второй половины формы; 1 – мягкая глина; 2 – кусок первой половины формы; 3 – лунки под замки; 4 – гипсовая обвязка; 5 – глиняная полоска; 6 – модель; 7 – раковина; 8 – впадины; 9 – кусок второй половины формы; 10 – петли

На подложке раскатывают пласт мягкой глины 1, в которую углубляют половину статуэтки (рис. 3.8, а), причем вокруг нее оставляют узенькую глиняную полоску шириной 3–4 мм. В зависимости от размеров модели вокруг данной полоски делают из гипса или поле, или кромку 4 шириной от 30 до 80 мм. Тщательно сделанная и выровненная кромка по высоте должна совпадать с линией деления на половины статуэтки. Глиняная полоска, выровненная по кромке, со стороны модели должна быть ниже отмеченной линии на 1 мм для небольшого запаса в обрезке усенки.

В первую очередь закладывают боковые куски 2, а затем остальные аналогично формовке разноуровневого рельефа рис. 3.7. При этом боковые куски обрезаются точно по разделительной линии на модели. Закончив с формовкой всех кусков первой половины статуэтки, делают кожух 7 для них (рис. 3.8, б). После затвердевания его переворачивают вместе с моделью и с ее половинки удаляют щит, глину и гипсовую полоску. Затем тщательно об-

резают усенки с полученной части формы и делают на ней замки. После этого приступают к формовке второй половины модели и кожуха аналогично первой.

Для большей устойчивости боковых кусков на передней раковине делают усенки 20 мм, а на задней – не менее 20–35 мм в зависимости от величины модели. До наливки кожуха на двух концах усенки закладывают с обеих сторон по небольшому кусочку глины. После его изготовления извлекают глину и на этом месте получают впадины 8, которые впоследствии служат для удобного раскрытия кожуха.

После очистки от гипса стыков обеих частей кожуха приступают к разъему той половинки формы, в которой заложено большее количество кусков. Снятые со всей модели куски формы укладывают по порядку в кожух, его закрывают и связывают, а потом отправляют на сушку при температуре 45–60 °С на 8–12 ч.

Форму с *балясины* можно получить несколькими способами в зависимости от ее размеров, формы и материала изготовления готового изделия. Так, чтобы сделать форму *балясины* высотой 40 см (рис. 3.9) необходимо на два торца подготовленной модели с двумя лунками для замков заложить торцевые куски формы 1 и 2 (рис. 3.9, а). При этом можно обойтись без закладки верхнего торцевого куска, тогда отливку готового изделия будут осуществлять через него.

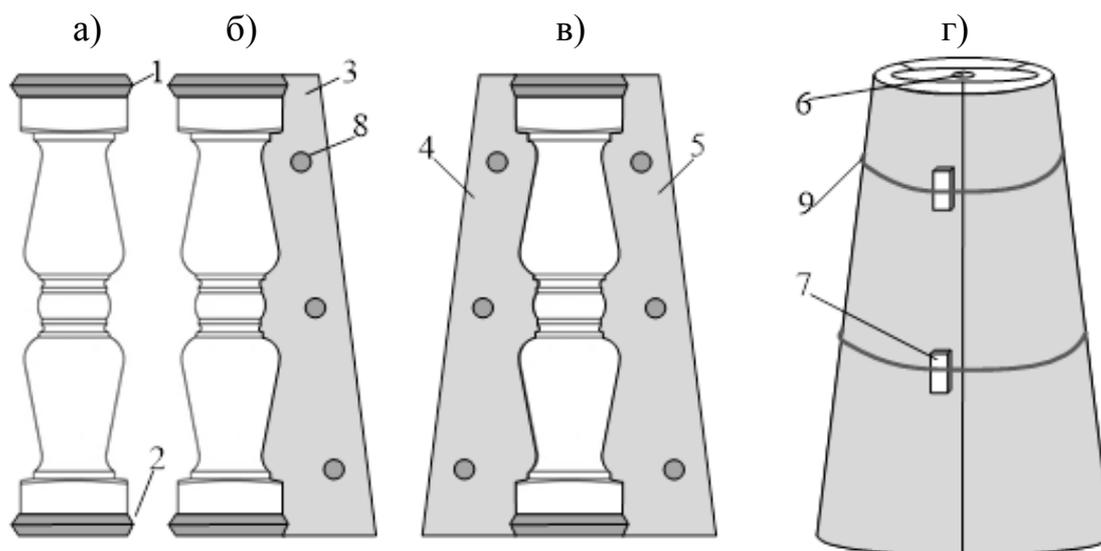


Рис. 3.9. Изготовление формы балясины для отливки полых изделий:  
а – модель с торцевыми кусками 1 и 2; б – закладка долевого куска 3;  
в – закладка 4 и 5 долевых кусков; г – куски формы в кожухе;  
1 и 2 – торцевые куски; 3–5 – долевые куски; 6 – литник; 7 – клин; 8 – лунки под замки; 9 – кожух

Толщина куска 3–4 см, ширина на 3–4 см шире диаметра нижнего и (или) верхнего торцов балясины.

В одном из торцевых кусков просверливают литник 6, т.е. круглое отверстие диаметром 5–6 см для заливки через него раствора (например, шликера для керамики) при получении готовых изделий. Снятые куски тщательно обрабатывают, обрезают, смазывают и укладывают на прежнее место. Модель с торцевыми кусками по длине делят на три части, намечая три долевых куска. Если делить только на две части, то не всегда удастся извлечь из какой-то половинки формы саму модель или отливаемое изделие.

По продольным линиям, длина которых равна длине балясины, а ширина – 1/3 ее ширины, устраивают глиняные ограничители. Они образуют пространство для заливки первого долевого куска 3 модели (рис. 3.9, б). Формовку всех оставшихся долевых кусков 4 и 5 проводят аналогично (рис. 3.9, в), как и торцевые. Через 15–20 мин куски снимают от модели, тщательно обрезают, смазывают и укладывают на место. В стыках двух кусков устраивают замки 8. Поверхности долевых кусков придают округленную форму и формуют кожух из двух половин-раковин (рис. 3.9, г). После его твердения всю форму разбирают и обрабатывают, а затем собирают куски в кожух, его стягивают стальными хомутами и заклинивают. Так форма готова для отливки изделий.

Для отливки *балясин высотой до 1 м* форму делают в той же последовательности, как и предыдущую, только она состоит из восьми долевых и двух торцевых кусков.

Для *отбивки изделий*, т.е. трамбования, формы состоят из меньшего или большего количества кусков в зависимости от сложности орнамента и размеров изделий. Так, для изготовления балясины при формовке в вертикальном положении верхний торцевой кусок отсутствует в форме. При этом под нижнее основание модели, поставленной вертикально, закладывают торцевой кусок с гранями пирамидальной формы и диаметром шире на 15 см основания балясины. На этом куске делают лунки для замков 1 и смазывают его поверхность. После этого балясину делят по высоте на две части и формуют их по отдельности, причем толщина нижнего куска на 4 см больше верхнего.

При дальнейшем изготовлении формы одна часть половины балясины состоит из четырех одинаковых клинообразных кусков 3, ширина нижнего

основания которых больше верхнего на не менее 1,5 см. Через 15-20 мин каждый кусок снимают с модели и ровно обрезают верхнюю усенку, чтобы длина куска со стороны, примыкающей непосредственно к балясине, должна быть больше наружной не менее чем на 2 см.

Наружную поверхность формы срезают в виде клиньев с образованием в итоге восьмигранной усеченной пирамиды. В каждом куске делают один-два замка 1 разных размеров, как отличительные признаки при укладывании кусков в кожух.

Аналогичные операции проводят при формовке верхнего ряда кусков, которые являются продолжением усеченной пирамиды низа. Совпадение граней обязательно, иначе кожух сойдет с кусков, и форма будет испорчена. Далее готовят кожух с внешними срезанными сторонами в виде пирамидальных граней. После затвердевания гипса кожух и куски осторожно снимают и покрывают последние шеллаковым лаком, сушат и укладывают обратно в кожух.

Разнообразные изделия любой сложности, орнаментов и размеров можно изготовить аналогично по описанным выше формам.

### 3.6. Получистые формы

Иногда для украшения зданий или помещений требуется получить только небольшое число копий, причем тонкость передачи на них деталей не нужна. В таких случаях используют *получистые формы* – это кусковые формы, снимаемые с мягких моделей для получения небольшого числа копий единичных украшений (метопы, портики, угловые плафонные вставки).

Изготовление получистой формы осуществляют таким же образом, что и чистую. Однако заложенные на модели куски не снимают, а обрезают их на месте. При снятии кусков с мягкой модели для обрезки можно повредить саму модель, так как снимаемый кусок тянет за собой глину, изменяя тем самым поверхность модели. Вследствие этого после обрезки кусок плотно не ляжет на свое место, к тому же при обратном накладывании обрезанного куска он даже при небольшом надавливании углубляется в глину.

Закладывание кусков происходит по намеченному металлическими пластинами контуру на мягкой модели. Их угол наклона должен быть таким же, как и для обрезки кусков, а ширина – не более одной трети высоты закладываемого куска. Благодаря пластинам отпадает необходимость в обрезке

нижнего усенка куска, подчищается только его верхняя кромка. Пластины остаются в модели до окончания формовки.

Во избежание повреждения мягкой модели куски обрезают до затвердения гипсового раствора.

### 3.7. Вопросы для самоконтроля

1. Какие вы знаете виды моделей?
2. В чем отличие мягких моделей от твердых?
3. Что обязательно в подготовке моделей к формовке?
4. Какие отличия в подготовке мягких и твердых моделей к формовке?
5. Чем смазывают модели перед формовкой?
6. Какие существуют виды гипсовых форм?
7. Зачем применяют цветной гипсовый раствор в черновых формах?
8. Чем простые формы отличаются от сложных?
9. В каких формах применяется оплеск?
10. Назовите общее название наиболее крупных частей формы.
11. Какая форма рассчитана для однократного использования?
12. Какие требования предъявляют к гипсовым формам?
13. Каковы условия эксплуатации гипсовых форм?
14. Назовите этапы изготовления простой кусковой формы.
15. Для чего гипсовый раствор готовят на известковой воде?
16. Какие этапы необходимы при изготовлении сложной кусковой формы?
17. Что из себя представляют замки на гипсовых формах?
18. Для чего изготавливают замки на гипсовых формах?
19. Зачем армируют куски и кожух в формах?
20. В чем отличие черновой и чистовой гипсовой формы?
21. Как называется форма в расколку?
22. Как снимают форму с балясины?
23. Что такое отбивка изделий?
24. Назовите особенности отбивки изделий.
25. Что означает получистая форма?
26. Как осуществляется вертикальная формовка изделий?
27. Чем отличается формовка плоского рельефа от разноуровневого?
28. Зачем куски укладывают в кожух?

#### 4. ИЗВЕСТКОВЫЕ И МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

К минеральным вяжущим веществам воздушного твердения так же относят известковые и магнезиальные вяжущие.

**Известковые вяжущие вещества** представляют собой воздушные или гидравлические вяжущие, состоящие преимущественно из оксидов или гидроксидов кальция.

В качестве сырьевых компонентов для получения воздушной извести применяют все виды природных карбонатных материалов, содержащих, в основном, углекислый кальций (*известняк, известковый туф, мел, мрамор* и т. д., называемые иногда обобщенным термином «известняки»), а для гидравлической извести используют в основном *мергель*. Теоретический состав химически чистого углекислого кальция: 56 % CaO и 44 % CO<sub>2</sub>.

*Известняк* – осадочная горная порода, достаточно твердая и плотная, состоящая в основном из кальцита и некоторого количества различных минеральных примесей: доломита, кварца, глин, гипса, органических веществ. Цвет у него обычно белый или светло-серый с желтым или бурым оттенком, реже темно-серый.

*Известковый туф* – порода осадочного происхождения, поликристаллическая гомогенная, складывается из карбонатных минералов вблизи от геотермальных источников. Окраска его в чистом виде – белая, но благодаря наличию многочисленных примесей она может изменяться и переходить в различной насыщенности цвета песочных и коричневатых оттенков.

*Мел* представляет собой мягкую рыхлую слабосцементированную тонкозернистую горную породу с землистым изломом, состоящую из тонкого органогенного и микрокристаллического кальцита (обычно на 98–99 % из карбоната кальция в виде скелетных остатков водорослей) природного происхождения. Он имеет белый или желтоватый цвет. Мел состоит из обломков скелетов многоклеточных организмов, раковин одноклеточных, обломков и известковых образований микроскопических водорослей, тонкозернистого кристаллического кальцита и нерастворимых минералов.

*Мрамор* – метаморфическая разновидность карбонатной породы, образовавшаяся в результате перекристаллизации известняков при высоких температурах и давлении.

*Мергель* – осадочная камнеподобная горная порода, представляющая собой смесь алюмосиликатов (глинистых продуктов распада полевого шпата) и карбоната кальция (в любой его минеральной форме). Они имеют низкую прочность и рыхлую землистую текстуру. Разновидность мергеля, содержащую 75–78 % карбоната кальция и 22–25 % глинистых примесей, называют *цементным мергелем натуральным*.

**Магнезиальные вяжущие вещества** – это воздушные вяжущие в виде тонкомолотых порошков, содержащие в основном оксид магния и твердеющие при затворении водными растворами хлористого или сернокислого магния.

В качестве основного вида сырья для производства магнезиальных вяжущих веществ используются природный магнезит, доломит, реже брусит.

*Магнезит* – горная порода, которая состоит преимущественно из карбоната магния ( $MgCO_3$ ), сложенная одноименным минералом в виде сплошных масс аморфной и кристаллической (мелко- и крупнокристаллической) разновидностей. Кристаллический магнезит представляет собой минерал серого, белого, иногда желтого цвета, в зависимости от примесей.

*Доломит* – горная порода осадочного происхождения, состоящая в основном из двойной соли кальция и магния (карбоната кальция и магния) –  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ . В природном состоянии доломиты белого, желтоватого или сероватого цвета мутны, почти непрозрачны, образуют зернистые, часто пористые массы, залегающие в виде огромных глыб. Наиболее частыми примесями являются магнезит, сидерит, кварц, минеральные группы глин, оксиды и гидроксиды железа и ряд других.

*Брусит* – порода осадочного происхождения, состоящая из гидроксида магния –  $Mg(OH)_2$ , часто содержит примеси доломита.

#### **4.1. Классификация известковых вяжущих веществ**

По областям применения известковые вяжущие разделяют на строительную известь и известь, предназначенную для других отраслей промышленности. Кроме того, известковые вяжущие делятся на *строительную известь* и *известьсодержащие вяжущие*.

**Строительной известью** называют вяжущее вещество, получаемое умеренным обжигом, не доводимым до спекания, карбонатных пород (известняков, мела, доломита) и последующим помолом.

В зависимости от *химического состава исходного сырья и условий твердения* строительную известь подразделяют:

- на **воздушную**, получаемую из карбонатных пород, содержащих не более 6 % глинистых и других примесей, и обеспечивающую твердение строительных растворов и бетонов и сохранение ими прочности в воздушно-сухих условиях;

- **гидравлическую**, которую получают из карбонатных пород, содержащих более 6 % глинистых и других примесей, и она обеспечивает твердение строительных растворов и бетонов и сохранение ими прочности как на воздухе, так и в воде.

По *химическому составу* воздушная известь бывает:

- негашеная;
- гашеная (гидратная).

В свою очередь, негашеную известь делят по *гранулометрическому составу* на комовую и молотую.

**Комовая негашеная известь**, называемая кипелкой, представляет собой кусковую обожженную известь с включениями из мелких частиц. В основном она состоит из свободных оксидов кальция и магния с преимущественным содержанием СаО. В небольших количествах в ней могут присутствовать неразложившийся карбонат кальция, а также силикаты, алюминаты и ферриты кальция и магния, образовавшиеся при взаимодействии глины и кварцевого песка с оксидами кальция и магния.

По *скорости гашения комовую известь* различают:

- **быстрогасящуюся** – не более 8 мин;
- **среднегасящуюся** – не более 25 мин;
- **медленногасящуюся** – более 25 мин.

**Молотая негашеная известь** – это порошкообразный продукт, полученный тонким помолом комовой извести. По химическому составу она соответствует комовой извести.

**Гидратная известь** представляет собой высокодисперсный сухой порошок, который получают путем гидратации комовой или молотой негашеной извести небольшим количеством воды, обеспечивающим переход оксидов кальция и магния в их гидраты. Гидратная известь состоит в основном из гидроксида кальция Са(ОН)<sub>2</sub>.

По *состоянию* различают три вида гидратной извести: известковое молоко, известковое тесто, порошок извести-пушонка.

**Известковое молоко** представляет собой суспензию с соотношением компонентов известь : вода, равном 1 к 3,5 и более частям, и плотностью менее 1300 кг/м<sup>3</sup>. В нем гидроксид кальция содержится и в растворенном и во взвешенном состоянии, как результат разбавления известкового теста.

**Известковое тесто** – это пастообразный концентрированный водный продукт (плотность около 1400 кг/м<sup>3</sup>), получаемый гидратацией комовой или молотой извести при соотношении компонентов извести к воде, равном 1 к 2,5–3 частям.

**Гашеная известь-пушонка** представляет собой рыхлый порошкообразный продукт гидратации комовой извести при соотношении компонентов известь : вода, равном 1 к 2,5 и менее частям.

В зависимости *от содержания оксида магния* различают следующие виды воздушной извести:

- **кальцевую** при содержании не более 5 % MgO;
- **магнезиальную** при содержании 5–20 % MgO;
- **доломитовую** (высокомагнезиальную) при содержании 20–40 % MgO.

По *содержанию непогасившихся частиц кальцевая известь* делится на три сорта:

- **1-й сорт** – содержание непогасившихся частиц не более 7%;
- **2-й сорт** – содержание непогасившихся частиц не более 11%;
- **3-й сорт** – содержание непогасившихся частиц не более 14%.

По *пластичности получаемого теста* вследствие гидратации различают **жирную** и **тощую** известь.

Жирная известь (высокая пластичность) быстро гасится, выделяя при этом много тепла, и дает после гашения пластичное жирное на ощупь тесто. Отличается большей пескостойкостью, т. е. позволяет получать удобообрабатываемые строительные растворы при введении большего количества песка.

Тощая известь (низкая пластичность) гасится медленно и дает менее пластичное тесто, в котором прощупываются мелкие зерна, не распавшиеся при гашении.

Кроме того, пластичность известкового теста зависит от содержания глинистых и песчаных примесей. Так, чем их больше содержит карбонатное сырье, тем более тощей получается изготовленная из него известь.

**Гидравлической известью** называется продукт умеренного обжига карбонатных пород, содержащих глинистые примеси или кремнезем в количестве 8–20 %, порошкообразного состояния. Обожженный продукт превращают в порошок путем последующего помола или гидратации (гашения).

Гидравлическая известь состоит главным образом из оксида кальция, силикатов и алюминатов кальция. Такая известь приобретает гидравлические свойства (слабые или сильные) и схватывается и твердеет как на воздухе, так и в воде. Присутствующий в атмосферном воздухе диоксид углерода ускоряет процесс твердения.

Специальным видом известковых вяжущих является природная гидравлическая известь, содержащая до 20 мас. % соответствующих добавок кремнеземистого состава. Чистая природная гидравлическая известь не содержит добавок.

К **известьесодержащим вяжущим** можно отнести **молотую карбонатную известь**, представляющую собой порошкообразную смесь совместно измельченных негашеной извести и карбонатных пород.

Для получения **смешанных известковых вяжущих** в молотую негашеную, а также гидратную известь при помоле вводят тонкомолотые минеральные добавки (доменные и топливные шлаки и золы, вулканические пемзы, туфы и пеплы, кварцевые песок, трепелы и гипс).

#### 4.2. Физико-химические основы процесса диссоциации $\text{CaCO}_3$

Природное карбонатсодержащее сырье (известняк, мел, и пр.) подвергают сильному нагреванию (обжигу) с целью получить оксиды кальция – основу известковых вяжущих веществ.

Процесс декарбонизации (диссоциации) углекислого кальция является обратимой реакцией, протекающей при определенных температурах и соответствующих (парциальных) давлениях углекислого газа с поглощением теплоты:



Для разложения карбоната кальция требуются затраты большого количества тепла – 1780 кДж/кг или 178 кДж/моль  $\text{CaCO}_3$ . Температура разложе-

ния углекислого кальция зависит от парциального давления углекислоты в окружающем пространстве.

Для ускорения процесса обжига известняка температура печного пространства, в котором протекает диссоциация  $\text{CaCO}_3$ , должна быть выше температуры диссоциации, соответствующей давлению  $\text{CO}_2$  в 0,1 МПа, а выделяющийся углекислый газ должен быть удален из реакционной зоны.

Процесс диссоциации  $\text{CaCO}_3$  состоит из следующих стадий:

- 1) разрушение частиц  $\text{CaCO}_3$  с образованием пересыщенного раствора  $\text{CaO}$  в  $\text{CaCO}_3$ ;
- 2) распад пересыщенного твердого раствора с образованием кристаллов новой фазы  $\text{CaO}$ ;
- 3) десорбция  $\text{CO}_2$  и последующая его диффузия в газовый поток.

1 стадия. При нагревании разрушение частиц кальцита начинается с отрыва иона  $\text{O}^{2-}$  от аниона  $\text{CO}_3^{2-}$ :



Для осуществления этого процесса частицам необходимо накопить энергию, достаточную для разрушения старых связей и образования новых.

Диссоциация карбонат-иона легко осуществляется лишь тогда, когда образовавшаяся молекула  $\text{CO}_2$  сможет удалиться от аниона  $\text{O}^{2-}$  на достаточное расстояние. В начале процесса эти условия имеются на наружных слоях (рис. 3.1). При этом катионы кристаллической решетки оказывают существенное влияние на активное протекание процесса распада, деформируя анионы  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Однако не на всех поверхностных участках кристаллической решетки кальцита создаются наиболее благоприятные условия для распада, а только там, где имеются наибольшие искажения решетки и связь между частицами сильно ослаблена, а запас свободной энергии достаточно высок. Такие места являются активными центрами, где начинается и осуществляется распад анионов.

Дальнейшее развитие процесса распада анионов  $\text{CO}_3^{2-}$  сосредоточено как вблизи, так и на границе раздела фаз  $\text{CaO}$  и  $\text{CaCO}_3$  (рис. 4.1) и обусловлено уже деформирующим влиянием  $\text{CaO}$  на анионы карбоната  $\text{CO}_3^{2-}$ .

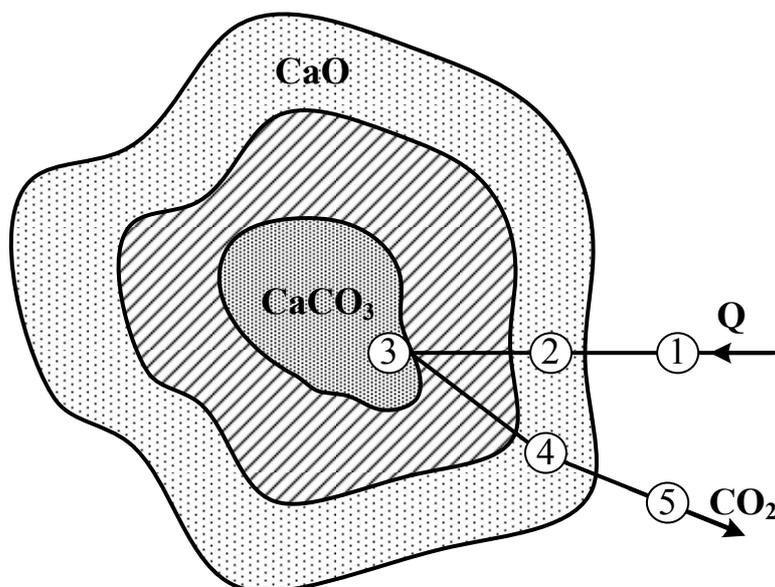


Рис. 4.1. Схема разложения зерна кальцита: 1 – подвод теплоты; 2 – передача теплоты через слой; 3 – химическая реакция на поверхности (теплота расходуется на разложение  $\text{CaCO}_3$ ,  $[\text{CO}_3]^{2-}$  и рекристаллизацию  $\text{CaO}$ ); 4 – диффузия  $\text{CO}_2$  через слой  $\text{CaO}$ ; 5 – переход  $\text{CO}_2$  в межзеренное пространство

Замедлению процесса распада карбонат-ионов будет способствовать утолщение внешнего слоя, образованного продуктом реакции  $\text{CaO}$ . Это способствует затруднению подвода теплоты к границе раздела карбоната кальция с оксидом кальция, что замедляет диссоциацию карбоната кальция, поэтому для поддержания постоянной скорости разложения карбоната потребуется увеличение температуры внешних слоев  $\text{CaCO}_3$ .

2 стадия. Одновременно с описанными выше процессами происходит распад пересыщенного твердого раствора  $\text{CaO}$  в  $\text{CaCO}_3$  и большая концентрация  $\text{O}^{2-}$  в поверхностном слое активных участков приводит к появлению кристаллических зародышей новой фазы –  $\text{CaO}$  (рис. 4.1). Такая фаза будет тонкодисперсной, а следовательно, она будет обладать большим запасом свободной энергии. Последнее обстоятельство делает ее метастабильной.

При этом возникновение зародышей новой фазы  $\text{CaO}$  сильно тормозится небольшой подвижностью ионов в решетке.

Кроме того, чем меньше число дефектных мест у исходных кристаллов  $\text{CaCO}_3$ , тем меньше число возникающих зародышей новой фазы. Следовательно, чем крупнее кристаллы у исходного  $\text{CaCO}_3$  и чем правильнее они огранены, тем медленнее совершается переход активных центров исходной фазы в

крупнокристаллические зародыши СаО. Температура начала заметного разложения такого известняка на 6–7 °С выше.

Размер конечных кристаллов СаО будет зависеть от количества образующихся зародышей в единицу времени и от соотношения скоростей образования зародышей и роста кристаллов. В первом случае, если число зародышей велико, то для роста кристаллов, как правило, не хватает «строительного материала», и поэтому кристаллы СаО будут маленькими, и наоборот. Во втором, если скорость роста кристаллов выше скорости зарождения зародышей, то продукт будет крупнокристаллическим, в противном случае картина будет обратной.

Кроме того, наибольшее влияние на размер кристаллов СаО оказывает температура и длительность обжига. Так, в процессе диссоциации карбоната кальция при температуре 800 °С и выдержке 10 ч образуются в основном кристаллы оксида кальция с размером 0,3 мкм, при 900 °С и той же выдержке они увеличиваются до 0,5–0,7 мкм (мягко обожженная известь), а после 10 ч прокаливания или обжиге при 1000 °С – до 6–13 мкм.

При более высоких температурах обжига (более 1000 °С) и, в особенности, при длительной выдержке с максимальной температурой возможен пережог извести, в результате чего появляются крупнокристаллические зерна оксида кальция величиной 500–1000 мкм (грубозернистая известь). В так называемой намертво обожженной извести (температура обжига выше 1650 °С) максимальный размер кристаллов СаО достигает 1000 мкм.

3 стадия. На начальной стадии процесса диссоциации карбоната кальция десорбция СО<sub>2</sub> происходит относительно легко и быстро. Однако при продвижении фронта реакции в глубь кристаллической решетки удаление молекул углекислого газа путем диффузии из внутренних слоев весьма затруднительно из-за сравнительно больших размеров самих молекул.

Длительное пребывание молекул СО<sub>2</sub> в окружении анионов О<sup>2-</sup> приводит к неизбежному образованию исходного карбонат-иона СО<sub>3</sub>, т. е. протеканию обратного процесса – рекарбонизации СаО.

Таким образом, одним из важнейших факторов поддержания активно протекающего процесса декарбонизации СаСО<sub>3</sub> является необходимость постоянного удаления углекислого газа из реакционной зоны печного агрегата.

По достижении температуры диссоциации и в ходе последующей прокалики оксид кальция подвергается спеканию. В результате этого процесса малые кристаллические зерна CaO срастаются друг с другом в компактное кристаллическое тело, что вызывает рекристаллизацию частиц, т. е. формирование более крупных и правильных кристаллов, которые обладают пониженной активностью.

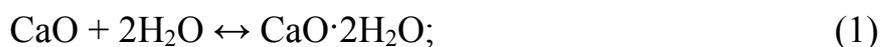
С повышением температуры свыше 900 °С происходит перестройка структуры, сопровождаемая ростом кристаллов, объемной массы и уменьшением удельной поверхности и пористости.

### 4.3. Физико-химические основы гидратации воздушной извести

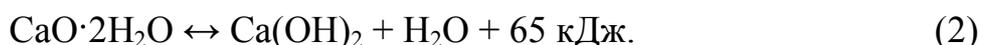
Строительная воздушная известь является высокоактивной по отношению к воде и при взаимодействии с водой может превращаться в тонкодисперсный порошок – пушонку, известковое тесто, известковое молоко. Воздушная известь отличается от других вяжущих веществ тем, что может превращаться в порошок не только при помоле, но и при взаимодействии с водой, что является уникальным технологическим приемом химического диспергирования.

В общем виде взаимодействие оксида кальция с водой можно представить следующим образом:

- первоначально кусочки извести впитывают воду, что сопровождается заметным уплотнением поверхности исходного материала. Этот процесс связан с образованием промежуточного соединения типа оксигидрата кальция:



- образующийся на первой стадии  $\text{CaO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  метастабилен и поэтому плотная гомогенная масса начинает бурно превращаться в «бурлящий» порошкообразный продукт, т.е. процесс сопровождается самопроизвольным разложением оксигидрата кальция в портландит –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , кристаллизующийся в гексагональной сингонии, по уравнению



Кристаллы гидроксида кальция имеют вид тонких гексагональных пластинок или призм. Плотность  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  значительно меньше, чем у CaO (плотность химически чистого оксида кальция 3340 кг/м<sup>3</sup>), поэтому в процессе гашения известь рассыпается в порошок. Кроме того, в процессе реакции

выделяется большое количество тепла, ведущее к разогреву массы и интенсивному парообразованию. Образующийся пар разрыхляет частицы извести и превращает ее в тонкодисперсный порошок;

- заключительным этапом гашения является образование порошка-пушонки – появление хлопьев гидроксида кальция. Установлено, что гексагональные кристаллиты  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  симметрично заряжены двумя диполями с перекрещивающимися осями. Поэтому происходит взаимное притяжение разноименно заряженных участков отдельных кристаллитов, что приводит к образованию хлопьев. Затем отдельные хлопья превращаются в более крупные и плотные частицы.

Процесс взаимодействия оксида кальция с водой зависит от свойств извести, агрегатного состояния воды (жидкость или пар), водоизвесткового отношения и многих других факторов.

Кинетика процесса гашения извести зависит от многих факторов, таких как:

- *количество воды.* Для гашения извести в порошок теоретически необходимо добавлять 32,13 % воды от массы извести-кипелки. Практически приливают примерно в два, а иногда и в три раза больше воды из-за удаления части воды из гасящейся массы за счет сильного парообразования во время реакции. Однако недостаток воды вызывает так называемое перегорание гашеной извести, заключающееся в образовании трудно проницаемых для воды и поэтому трудно гасящихся образований. Появление таких образований объясняется следующим: гидратация извести в первое время после добавления воды происходит наиболее энергично в поверхностных слоях зерен  $\text{CaO}$ , на которых из-за избытка воды образуется тестообразный слой гидроксида кальция. Этот гидрат при дальнейшем поглощении воды внутренними слоями будет высыхать, уплотняться и плохо пропускать воду, необходимую для гашения внутренних слоев извести. Для облегчения проникновения воды к этим слоям и ускорения гашения необходимо энергичное перемешивание гасящейся массы;

- *повышение температуры.* Поскольку реакция гашения извести является обратимой и экзотермической, то согласно принципу Ле-Шателье при повышении температуры реагирующей среды равновесие реакции сдвинется в обратную сторону, т. е. начнется дегидратация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Установлено, что

полная дегидратация гидроксида кальция наступает при 547 °С и атмосферном давлении. Однако протекание этого процесса возможно при более низких температурах (300–350 °С) с образованием вторичного оксида кальция, имеющего большую плотность и медленно гасящегося впоследствии. Для быстрого и полного гашения необходимо присутствие достаточного количества воды или насыщенных водяных паров.

Повышение температуры влияет на процесс гидратации двояко. С одной стороны, увеличение температуры вызывает повышение скорости реакции. В интервале температур от 0 до 100 °С при повышении на каждые 10 °С скорость гидратации увеличивается в 2 раза. С другой стороны, на частицах еще не загидратированной извести образуются толстые пленки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , препятствующие диффузии воды, что замедляет реакцию. Более того, при гашении извести в пушонку происходит укрупнение и упрочнение агрегатов образующегося гидроксида кальция. Такие образования в дальнейшем не способны в смеси с водой распадаться на тончайшие частички и давать пластичное тесто. Поэтому при гидратации извести целесообразно устанавливать температуру гасящейся массы в пределах 60–80 °С с тем, чтобы, с одной стороны, не было перегрева материала, а с другой, чтобы процесс гидратации шел достаточно интенсивно. Это следует из того, что растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в воде с повышением температуры уменьшается;

- *размер кристаллов оксида кальция.* Крупные кристаллы  $\text{CaO}$  реагируют с водой очень медленно с малым тепловыделением. Скорость гидратации извести при величине кристаллов оксида кальция до 5 мкм составляет 2–3 мин, а при величине 40–50 мкм – 20–30 мин. Более того, интенсивность гашения кристаллов  $\text{CaO}$  размером 1 мкм несколько больше растворимости кристаллов размером 6–13 мкм, размером 0,1 мкм – в ~1,4 раза; размером 0,01 мкм – в ~14 раз.

При комнатной температуре скорость взаимодействия с водой кристаллов  $\text{CaO}$  размером 0,3 мкм, полученных при температуре обжига 800 °С, приблизительно в 120 раз выше скорости гашения частиц размером 10 мкм, обожженных при 1200 °С и выше. При тонком измельчении крупнокристаллического  $\text{CaO}$  реакция с водой протекает более энергично, но все же значительно более медленно по сравнению с мягкообожженной известью;

- *дефектность кристаллов CaO*. В кристаллах оксида кальция всегда содержатся дислокации и другие дефекты в его структуре, что способствует ускорению скорости гидратации;

- *наличие примесей*. Так, хлориды, нитраты ускоряют процесс гашения. Другие, наоборот, вызывают замедление гашения. К ним относятся сульфаты, фосфаты и др. Негативное их действие состоит в образовании на поверхности частичек извести труднорастворимых соединений, создающих торможение для проникновения воды к непогасившимся частицам.

Наличие значительного количества оксида магния и глинистых примесей замедляет гидратацию. При гашении извести в пушонку зерна силикатов и алюминатов кальция, образовавшиеся во время обжига, не рассыпаются в порошок и при гашении гидратируются медленно, поэтому их необходимо отделять и измельчать механическим путем. При гашении извести в тесто медленно гидратирующиеся силикаты и алюминаты кальция образуют гидросиликаты и гидроалюминаты кальция в виде гелей. Поскольку это происходит до применения извести, эти соединения отчасти играют роль балласта. Частицы недожога ( $\text{CaCO}_3$ ) и пережога<sup>1</sup> следует тоже рассматривать как балласт, который остается в пушонке и тесте. Пережог, например, замедляет процесс гашения настолько, что он продолжается в уже сформованном изделии при автоклавной обработке, приводя к появлению трещин, вспучивания и других дефектов, вплоть до полного разрушения;

- *длительное хранение извести* на складах отрицательно сказывается на ее качестве и скорости гидратации, так как в этом случае происходит самопроизвольная карбонизация ее за счет углекислоты воздуха с образованием малопроницаемого для воды слоя  $\text{CaCO}_3$ ;

- *введение добавок*. Так, введение в количестве 0,2–1 % некоторых хлоридов и нитратов ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и др.) в воду затворения ускоряет гидратацию оксида кальция. Добавки, способствующие образованию нерастворимых соединений, замедляют гидратацию. Это некоторые соли серной, фосфорной, щавелевой и угольной кислот. Взаимодействие с водой замедляют и поверхностно-активные вещества, например,

---

<sup>1</sup> пережженный (из-за более низкой температуры декарбонизации)  $\text{MgO}$ , как правило, входящий в состав извести, хотя и в небольшом количестве – не гидратируется в обычных условиях и остается в извести в виде крупных нераспавшихся зерен. Кроме того, существует еще и пережженный  $\text{CaO}$ , который также обладает низкой реакционной способностью.

сульфитный щёлоч или сульфитно-спиртовая барда (ССБ), адсорбирующийся на кристаллических зародышах  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с образованием поверхностных плёнок, препятствующих росту кристаллов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и последующему растворению  $\text{CaO}$ .

#### 4.4. Физико-химические основы твердения извести

В зависимости от вида и условий, в которых происходит твердение извести, различают три типа твердения – гидратное, карбонатное и гидросиликатное.

**Гидратное твердение** – это постепенное превращение в камневидное тело растворов и бетонов на молотой негашеной извести в результате взаимодействия  $\text{CaO}$  с водой, возникновения и кристаллизации гидратных образований.

Гидратное твердение извести протекает по химической реакции (1) и характеризуется в соответствии с обобщенной кристаллизационной теорией твердения А.А. Байкова следующими стадиями:

1. Растворение и образование пересыщенного раствора. При твердении молотой негашеной извести вначале происходит ее растворение в воде с образованием насыщенного ионами  $\text{Ca}^{2+}$  раствора, который быстро становится пересыщенным. Растворимость извести при наблюдаемом повышении температуры падает из-за отсасывания воды внутрь зерна еще не погасившейся его частью.

2. Коллоидация твердеющей известковой массы. При быстром и сильном пересыщении раствора, что характерно при твердении негашеной извести, образуются коллоидно-дисперсные массы. Эти массы получаются и вследствие того, что образующийся гидроксид кальция состоит из частиц, приближающихся по своим размерам к коллоидным.

3. Образование гидрогеля. Коллоидный гидроксид кальция быстро коагулирует в гидрогель, склеивающий зерна друг с другом.

4. Уплотнение гидрогеля. По мере дальнейшего отсасывания воды внутренними слоями зерен и ее испарения гидрогель уплотняется, что вызывает рост прочности твердеющей извести.

5. Кристаллизация. Вначале образуется небольшое количество кристаллических зародышей, но постепенно оно увеличивается. Кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  прорастают в свободном пространстве твердеющей массы, перепле-

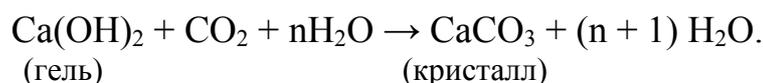
таются, срastaются, образуя известковый каркас, что обеспечивает повышение прочности твердеющей известковой массы.

6. Карбонизация. Последующая карбонизация гидроксида кальция за счет содержащегося  $\text{CO}_2$  в воздухе повышает прочность затвердевшей массы.

**Карбонатным твердением** называют процесс постепенного затвердевания растворных или бетонных смесей, изготовленных на гашеной извести, при воздействии на них углекислоты воздуха. Твердение при этом обусловлено одновременным протеканием двух процессов:

- кристаллизация гидроксида кальция из насыщенного водного раствора. Кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  срastaются между собой, образуя кристаллический каркас – "сросток", который является основой прочности камня, цементирующий в единый камневидный конгломерат частицы всех компонентов вяжущего и наполнителей. В этих условиях процесс кристаллизации гидроксида кальция протекает очень медленно, в связи с чем обуславливается невысокий уровень прочности известковых вяжущих в первые месяцы твердения;

- образование карбоната кальция в присутствии воды по реакции:



При испарении воды из раствора гелевидная масса известкового теста уплотняется и упрочняется. Высыхание вызывает также образование сетки пор и мельчайших капилляров, частично заполненных водой. Они стягивают частицы извести и наполнителя, придавая раствору дополнительную прочность и водостойкость готовых изделий.

Кристаллы  $\text{CaCO}_3$  образуются в поверхностных слоях известкового изделия, переплетаются с кристаллами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , срastaются, образуя известково-карбонатный каркас и обеспечивая упрочнение поверхностного слоя изделия.

**Гидросиликатное твердение** – это процесс превращения известково-кремнеземистых смесей в твердое камневидное тело, обусловленный образованием гидросиликатов кальция, цементирующих зерна песка, при тепловлажностной обработке в автоклавах насыщенным паром под давлением 0,8–1,6 МПа, что соответствует температуре 174,5–205 °С.

Весь процесс гидросиликатного твердения известково-кремнеземистых смесей в автоклаве можно разделить на несколько стадий:

1) период с момента пуска пара в автоклав до заданной температуры обработки изделий (174,4–200°C). В материале появляются значительные напряжения как термические, так и вызываемые расширением воздуха и воды в порах;

2) изотермическая выдержка изделий, т.е. постоянство температуры и заданного давления пара в автоклаве. К этому моменту поры изделия в достаточной степени заполнены раствором гидроксида кальция, непосредственно соприкасающимся с кремнеземистым компонентом. Они гидратируют молекулы  $\text{SiO}_2$  и делают их способными к последующим реакциям с ионом кальция. В результате этого происходит образование гидросиликатов кальция различного состава;

3) спуск давления и охлаждение изделий. На данной стадии возникает интенсивное парообразование, что приводит к ускорению кристаллизации гидросиликатов кальция, находящихся в растворе.

Таким образом, кристаллы гидросиликатов кальция вначале образуются в коллоидном состоянии, затем при наличии водной среды и в условиях высокой температуры с течением времени переходят в более крупные кристаллические образования. К концу запаривания гидросиликаты кальция, а также другие возникшие цементирующие вещества в зависимости от возраста будут иметь различную структуру: образовавшиеся в начале запаривания соединения успеют в какой-то степени перекристаллизоваться; возникшие же на последней стадии запаривания будут еще находиться в виде тонкодисперсных субмикроскопических осадков.

Кинетика химического взаимодействия извести и кремнезема, характер и последовательность получаемых цементирующих новообразований, их структура на этих этапах определяются температурой пара и компонентов силикатной смеси, ее составом, влажностью и другими факторами.

#### **4.5. Свойства воздушной извести**

Важнейшими строительно-техническими свойствами извести являются: *содержание суммы активных СаО и MgO, содержание непогасившихся зерен* (табл. 4.1), а также *температура и время гидратации (гашения)*. Кроме того, в табл. 4.1 приведены основные требования к извести, регламентируемые ГОСТ 9179–77.

Таблица 4.1

## Свойства воздушной извести

Наименование свойств извести	Известь										
	Негашеная									Гидратная (гашеная)	
	Кальциевая			Магнезиальная			Доломитовая				
	Сорт										
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	
Содержание суммы активных CaO и MgO, %, не менее: без добавок с добавками	90	80	70	85	75	65	85	75	65	67	60
	65	55	–	60	50	–	60	50	–	50	40
Содержание активной MgO, %, не более	5	5	5	20	20	20	40	40	40	–	–
Содержание CO <sub>2</sub> , %, не более: без добавок с добавками	3	5	7	5	8	11	5	8	11	3	5
	4	6	–	6	9	–	6	9	–	2	4
Содержание непогасившихся зерен, %, не более	7	11	14	10	15	20	10	15	20	–	–
Потери при прокаливании, %, не более	5	7	10	7	10	13	–	10	13	–	–
Влажность извести, %, не более	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5	5
Тонкость помола – остаток на ситах, %, не более:											
	№ 02	1	1	1	1	1	1	1	1	–	–
	№ 063	–	–	–	–	–	–	–	–	2	2
	№ 008	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Первым и главным свойством воздушной извести, которое и определяет ее качество, является ее **активность** – это содержание суммы активных CaO и MgO. Чем выше их количество, тем активнее известь.

Следующим свойством, снижающим качество воздушной извести, является наличие непогасившихся зерен, количество которых должно быть ограничено. При гашении извести часть ее остается в виде непогасившихся зерен различной крупности. Эти непогасившиеся зерна в большинстве своем представляют пережженные зерна CaO и MgO (пережог), неразложившиеся в процессе обжига зерна карбоната кальция (недожог) и примеси.

Главным технологическим свойством извести является ее способность гаситься, т.е. активно взаимодействовать с водой с выделением большого количества тепла и образованием продукта реакции в высокодисперсном состо-

янии. В зависимости от времени гидратации комовую известь подразделяют на быстрогасящуюся – не более 8 мин, среднегасящуюся – не более 25 мин и медленногасящуюся – более 25 мин.

**Плотность** негашеной кальциевой извести зависит от наличия примесей, недожога и пережога и находится в пределах 3100–3300 кг/м<sup>3</sup>. Объемная масса комовой извести колеблется от 1600 до 2600 кг/м<sup>3</sup> и увеличивается с повышением температуры обжига карбонатного сырья.

Плотность гидратной извести зависит от степени ее кристаллизации: в аморфном состоянии 2080 кг/м<sup>3</sup>, в кристаллическом 2230 кг/м<sup>3</sup>.

**Тонкость помола** извести для различных ее видов приведена в табл. 4.1.

Воздушная известь обладает высокой **водопотребностью**: для получения теста требуется 200–300 % воды. Это объясняется высокой дисперсностью гашеной извести, состоящей из образовавшихся при гашении частиц Ca(OH)<sub>2</sub>. Водопотребность извести зависит от ее вида. Так, при применении молотой извести водопотребность снижается, а при использовании теста или гидратной извести – увеличивается.

Еще одним важным свойством извести, определяющим ее широкое применение, является высокая **пластичность** известкового теста, обуславливающая способность вяжущего придавать строительным растворам и бетонам удобоукладываемость<sup>1</sup>. Она связана с ее большой **водоудерживающей способностью**: каждая частица гидроксида кальция окружена тонким слоем адсорбционной воды. Так, диффузные оболочки из молекул воды вокруг частиц Ca(OH)<sub>2</sub>, уменьшая внутреннее трение в системе и увеличивая подвижность зерен, придают известковому тесту пластичность. Она зависит как от размера частиц Ca(OH)<sub>2</sub>, так и от количества воды и наличия в ней растворенных веществ. Чем крупнее в нем частицы извести, тем меньше водопотребность, тем тоньше диффузные гидратные слои на частицах и, следовательно, менее пластичным является тесто.

**Нормальной густотой известкового теста** называют такую консистенцию, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 7–11 мм до пластинки, на которой установлено

---

<sup>1</sup> это способность известкового раствора ложиться ровным слоем на основание без специального уплотнения.

кольцо. Нормальная густота известкового теста характеризуется количеством воды затворения, выраженным в % от массы извести.

Твердение извести происходит очень медленно, тесто теряет пластичность в течение суток и более.

**Прочность** известковых вяжущих может изменяться в широком диапазоне температур в зависимости от их вида и условий твердения. Прочностные показатели строительной воздушной извести не нормируются стандартом. Молотая негашеная известь отличается более высокой прочностью при сжатии (1–5 МПа через 28 сут при испытании стандартных образцов, изготовленных из теста, состоящего из извести, песка и воды, взятых в определенном соотношении). Предел прочности при сжатии гидратной известкпшонки и известкового теста невелик и через 28 сут составляет 0,5–1,0 МПа при испытании в стандартных образцах (40×40×160 мм), изготовленных из известково-песчаного раствора жесткой консистенции.

При твердении растворов и бетонов, изготовленных из строительной воздушной извести, возможны **объемные изменения** трех видов:

- неравномерное изменение объема;
- усадка и набухание;
- изменения, вызванные температурной деформацией.

Наличие в извести пережженных частиц вызывает опасность *неравномерного изменения объема* в затвердевших растворах и бетонах и появление трещин. Они являются результатом критических напряжений, возникающих в материале при увеличении объема в результате позднего гашения СаО и MgO. Испытание на равномерность изменения объема выполняют на образцах-лепешках из теста нормальной густоты, которые через 24 ч подвергают кипячению в течение 4 ч с последующим осмотром на возможность появления трещин.

Для устранения опасности неравномерности изменения объема известь тонко измельчают, обеспечивают более полное гашение, вводят добавки, способствующие гашению пережженных частиц (например, хлористый кальций).

При твердении известковое тесто, прежде всего из-за большого содержания воды в нем, дает большую *усадку* с образованием трещин. Поэтому воздушную известь никогда не применяют без заполнителя – песка, который

образует остов, скелет раствора, перераспределяющим при высыхании раствора объемные изменения известкового теста, обволакивающего зерна песка, а, следовательно, препятствующим его растрескиванию и усадочным деформациям. При этом, песок также облегчает удаление из него испаряющейся воды и доступ внутрь углекислоты воздуха, а адгезия (сцепление) между частицами песка и извести достигает значительной величины.

Деформации при твердении извести могут возникать также в результате интенсивного тепловыделения, в результате которого изделия могут разогреваться до 60–70 °С и более. В изделии возникает перепад температуры, приводящий к *температурным деформациям*. В результате более холодные поверхностные слои оказываются в растянутом состоянии, что приводит к образованию трещин. Однако высокая экзотермичность при твердении молотой негашеной извести может иметь и положительное значение, способствуя набору прочности материалов, в том числе и при пониженных температурах окружающей среды. Интенсивность тепловыделения и температурных деформаций возрастает с увеличением тонкости помола извести, снижением водоизвесткового отношения. Кроме того, при значительном содержании MgO известь гасится медленнее и выделяет при гашении меньшее количество тепла.

Таким образом, качество различных видов извести определяется главным образом их химическим составом и пластическими свойствами.

#### 4.6. Гидравлическая известь

Гидравлическая известь – это продукт, получаемый обжигом при 900–1100 °С не до спекания мергелистых известняков с содержанием 6–25 % тонкодисперсных глинистых и песчаных примесей.

При обжиге сырья происходят три различных процесса:

- диссоциация карбонатной части, т.е. декарбонизация  $\text{CaCO}_3$ , с образованием  $\text{CaO}$  и углекислого газа  $\text{CO}_2$ , (последний удаляется);
- диссоциация глинистого вещества (кристаллогидратов типа  $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2$ ) с образованием  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;
- связывание части оксида кальция с составными частями глины с образованием новых минералов:  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  – двухкальциевый силикат,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  – однокальциевый алюминат,  $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  – двухкальциевый феррит.

Основными составными частями гидравлической извести являются свободные оксиды кальция и магния, а также силикаты и алюминаты кальция.

Твердение гидравлической извести протекает продолжительно в воздушно-влажных условиях. Таковую ее способность можно выразить гидравлическим модулем.

**Гидравлический модуль  $m$**  – это отношение содержания основного оксида кальция к суммарному содержанию кислотных оксидов в составе вяжущего:

$$m = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}.$$

Так, по величине гидравлического модуля и в зависимости от содержания в сырье глинистых веществ различают:

- сильногидравлическую известь с гидравлическим модулем 1,7–4,5;
- слабогидравлическую известь с гидравлическим модулем 4,5–9,0.

Если гидравлический модуль больше 9, продукт обжига представляет собой воздушную известь, а при меньшем, чем 1,7 – романцемент.

В зависимости от содержания в гидравлической извести свободного оксида кальция сроки схватывания колеблются в пределах: начало схватывания будет от 0,5 до 2 ч, а конец схватывания – 2–16 ч. Гидравлическую известь проверяют на равномерность изменения объема при твердении: после 28 сут комбинированного твердения не должно быть трещин и искривлений лепешек.

Гидравлическая известь прочнее воздушной, но отстает в этом отношении от многих других вяжущих. Предел прочности при сжатии гидравлической извести определяется через 28 сут комбинированного твердения: 7 сут во влажном воздухе и затем 21 сут в воде; прочность определяют на растворе состава И:П=1:3. Так для слабогидравлической он равен 1,7 МПа, а для сильногидравлической он равен 5,0 МПа.

#### **4.7. Магнезиальные вяжущие вещества**

Среди всех воздушных вяжущих веществ магнезиальные занимают особое место благодаря использованию в качестве затворителя не воду, а растворы хлористых или сернокислых солей магния ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Многие свойства данных материалов лучше, чем у портланд-

цемента. Они не нуждаются во влажном периоде твердения, обеспечивают высокую огнестойкость и низкую теплопроводность, хорошую износостойкость, имеют достаточно высокую прочность при изгибе и сжатии.

Разновидностями магниезальных вяжущих веществ являются:

- *каустический магнезит* (в основном состоит из оксида магния) и *каустический доломит* (содержит в своем составе преимущественно MgO и неразложившийся карбонат кальция), являющиеся продуктами обжига до полного разложения карбоната магния природного магнезита или доломита;
- *порошок магниезальный (или магнезитовый) каустический марок*.

Отдельно выделяют *рапный магнезит*, получаемый из рапы соленых озер. Он состоит из технического оксида магния (94,9 % MgO).

Процесс диссоциации карбоната магния является обратимой реакцией, протекающей при температуре от 402 до 480 °С и парциальном давлении углекислого газа 0,1 МПа (760 мм рт. ст.) с поглощением теплоты (процесс эндотермический):



Для разложения карбоната магния требуются затраты большого количества тепла – 1440 кДж/кг углекислого магния или 121 кДж/г·моль MgCO<sub>3</sub>.

Для достаточной скорости разложение магнезита и получения конечного продукта высокого качества с оптимальной плотностью важно поддерживать температуру обжига 600–650 °С и необходимо постоянно удалять углекислый газ CO<sub>2</sub>.

При затворении *каустического магнезита* раствором *хлористой соли магния* (бишофит) плотностью 1160 кг/м<sup>3</sup> происходит образование пентагидрата гидроксихлорида магния, так как данное соединение метастабильно, оно постепенно превращается в тригидрат гидроксихлорид магния и вторичный Mg(OH)<sub>2</sub>. Последний из раствора выводится, что является движущей силой для растворения новых порций MgO.

Второй период твердения – схватывание, или коллоидация. Получившиеся в результате реакций соединения образуют пересыщенный раствор и выделяются в виде геля. Схватывание начинается и заканчивается сравнительно быстро, коллоидное состояние затвердевшей массы сохраняется долгое время.

На заключительной стадии процесса твердения магниезального вяжущего вещества тригидроксихлорид магния кристаллизуется в виде игл и волокон, которые, срастаясь между собой, создают прочный каркас твердеющей магниезальной системы.

При использовании для затворения каустического магнезита растворами *сульфата магния*  $MgSO_4$  образуются комплексные соединения гидроксисульфаты магния – на первой стадии твердения магниезального вяжущего – тригидроксисульфат магния, который при температуре 35 °С переходит в пентагидроксисульфат магния (вторая стадия твердения). Следует отметить, что указанные процессы протекают не строго последовательно, а накладываются друг на друга.

Прочность такого вяжущего вещества ниже, чем с использованием раствора хлорида магния, но на готовых изделиях практически не образуются высолы.

После затворения *бишофитом* и при твердении *каустического доломита* проходят аналогичные реакции с образованием гидратов гидроксихлоридов магния.  $CaCO_3$ , также находящийся в составе, создает центры кристаллизации, повышая плотность изделий.

Тогда как при использовании в качестве затворителя *раствора*  $MgSO_4$  в составе каустического доломита  $CaCO_3$  взаимодействует с ним с образованием гипса, который обеспечивает в начальный период твердения набор прочности. В дальнейшем происходит взаимодействие  $MgO$  с затворителем с образованием кристаллогидратов гидроксисульфатов магния, при этом достигается высокая прочность.

Важнейшими строительно-техническими свойствами магниезальных вяжущих веществ являются: тонкость помола, нормальная густота теста, сроки схватывания, прочностные характеристики, гигроскопичность, водостойкость.

*Каустический магнезит* имеет белый или желтоватый цвет. Его насыпная плотность в рыхлом состоянии составляет 600–750 кг/м<sup>3</sup>, а в уплотненном вибрацией 800–900 кг/м<sup>3</sup>.

Начало схватывания каустического магнезита должно быть не ранее 20 мин, а конец – не позднее 6 ч от момента затворения. Сроки схватывания каустического магнезита зависят от температуры обжига и тонкости помола.

Так, пережог и грубый помол могут замедлить схватывание, а более тонкий помол и недожог наоборот ускорят данный процесс.

Каустический магнезит через сутки воздушного твердения показывает прочность на растяжение как минимум 1,5 МПа, а через 28 сут – 3,5–4,5 МПа, на сжатие в пределах 30–50 МПа, иногда выше. Марки каустического магнезита бывают 400, 500 и 600, их определяют по стандартной методике.

Каустический магнезит обладает свойством поглощать влагу и углекислоту из воздуха, в результате чего образуются  $Mg(OH)_2$  и  $MgCO_3$ . Поэтому каустический магнезит необходимо упаковывать в плотную тару для предохранения воздействия влаги и углекислоты воздуха, в противном случае гидратационные свойства магнезиального вяжущего ухудшаются и требуется отсев (удаление) скомковавшегося материала.

Водостойкость или коэффициент размягчения магнезиальных вяжущих веществ невелика и изменяется от 0,2 до 0,6, так как образующиеся при твердении продукты растворяются в воде, разрушая затвердевшую структуру. Эти процессы называют старением каустического магнезита в процессе эксплуатации.

**Каустический доломит** должен содержать в составе не менее 15 %  $MgO$ , не более 2 %  $CaO$ . Потери массы при прокаливании находятся в пределах 30–35 % и определяют количество карбоната кальция, неразложившегося при обжиге доломита. Чем больше в составе вяжущего вещества содержится  $MgO$ , тем его качество выше.

Плотность каустического доломита находится в пределах 2780–2850  $кг/м^3$ . Если плотность вяжущего вещества оказывается больше, то это свидетельствует о присутствии значительного количества  $CaO$ , что нежелательно из-за образования гигроскопичных солей кальция, которые ухудшают свойства вяжущего.

Насыпная плотность каустического доломита в рыхлонасыпанном состоянии изменяется в пределах 1050–1100  $кг/м^3$ .

Тонкость помола каустического доломита должна быть выше каустического магнезита из-за присутствия инертного  $CaCO_3$ .

Сроки схватывания каустического доломита: начало – через 3–10 ч, конец схватывания – через 8–20 ч.

Марки каустического доломита – 100, 150, 200 и 300. Предел прочности при растяжении затвердевшего каустического доломита составляет через 7 сут 1,0–1,5 МПа, а через 28 сут твердения – 2,5–3,0 МПа.

Каустический доломит не водостоек. Равномерность изменения объема при твердении зависит от избытка содержания (сверх допустимых количеств) в вяжущем СаО и несоответствия выбранного отношения MgO и MgCl<sub>2</sub>.

Для повышения водостойкости затвердевшего магниезального вяжущего вместе с хлористым магнием применяется железный купорос (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O). Добавка его ускоряет схватывание магниезального вяжущего и уменьшает возможность образования выцветов (высолов) на поверхности готовых изделий.

Кроме того, увеличение водостойкости магниезальных вяжущих до 0,85–1,00 возможно введением специальных добавок – фосфатов, сульфатоалюминатов и др., а также минеральных добавок, содержащих аморфный кремнезем (опока, трепел, диатомит) и способствующих еще уменьшению склонности к высолообразованию.

#### **4.8. Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определения известковых и магниезальных вяжущих веществ.
2. Какие сырьевые материалы используют для получения известковых и магниезальных вяжущих веществ?
3. Назовите виды известковых вяжущих веществ.
4. В чем заключается гидратация извести водой?
5. Назовите технические свойства и применение извести.
6. Как происходит образование "пушонки", теста и молока при гашении извести?
7. На чем основано определение непогасившихся зерен в извести?
8. Что такое скорость гашения извести и зачем ее определяют?
9. Расскажите о карбонатном твердении извести.
10. Как происходит гидратное твердение извести?
11. В чем особенности гидросиликатного твердения извести?
12. Что такое гидравлическая известь?
13. Какие свойствами обладает гидравлическая известь?
14. Расскажите об особенностях процесса гидратации и твердения магниезальных вяжущих?

## 5. ЖИВОПИСЬ СГРАФФИТО

В современном мире одним из видов монументально-декоративного искусства является сграффито. Такая техника позволяет относительно простыми средствами получать выразительные декоративные доминанты (орнамент, вставки и др.) и создавать значительные по масштабам сюжетно-тематические произведения в этом материале.

**Сграффито, граффито** (sgraffito, graffito, sgraffiato итал. – «выцарапанный») – это вид монументальной живописи, выполняемый нанесением на грунт нескольких тонких накрывочных, различных по цвету слоев теста с последующим частичным процарапыванием по заданному рисунку. Такой очень древний способ использовался впервые в гончарном деле, в котором сначала покрывали темные поверхности изделия более светлым, мягким слоем, а затем посредством выскабливания некоторых частей получали при этом различные рисунки и формы.

Сграффито можно использовать на части или всей поверхности фасада крупных зданий в виде фриза, пояска, гобелена, панно и т. п., в интерьерах малоэтажных зданий – кинотеатрах, кафе, клубах, столовых, магазинах, автовокзалах и т.п., а также отдельными фрагментами в виде картин или панно (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Стелла "Дружба народов", г. Иваново

### 5.1. Основные слои и разновидности сграффито

В технике сграффито на фоне слоя другого цвета оставшаяся часть после снятия (процарапывания) выглядит как аппликация или выступающий, или выпуклый рельеф (рис. 5.2). Для этого в накрывочном слое вырезают незначительную часть подсыхающего раствора, в результате нижний образует

на фоне верхнего углубленный рельефный рисунок. Удаление свежего (не затвердевшего) слоя производят специальными инструментами.



Рис. 5.2. Расположение слоев в разноуровневом рельефе сграффито

В технике сграффито возможно получение не только барельефа (рис. 5.3, а), но и контррельефа<sup>1</sup> (рис. 5.3, б) или койланаглифа<sup>2</sup> (рис. 5.3, в).

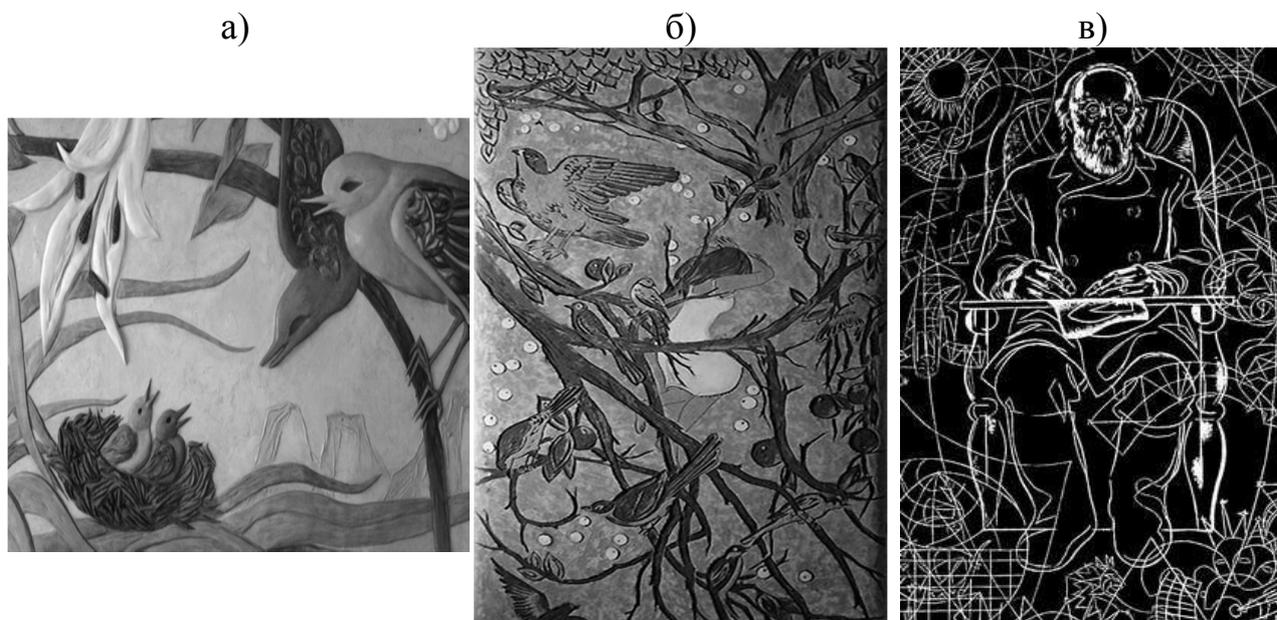


Рис. 5.3. Виды рельефов в сграффито: а – барельеф А. Хохрякова Птицы; б – контррельеф А. Хохрякова Сон; в – койланаглиф Б. Тальберг портрет К.Э. Циолковского

Сграффито состоит из трех основных слоев (рис. 5.4):

1. *Грубый слой* (coarse coat англ.) представляет собой известково-песчаный грунт, который предназначен для равномерного поглощения и удержания влаги.

<sup>1</sup> углублённый от фона «негатив» барельефа.

<sup>2</sup> вырезанный на плоскости углублённый контур.

2. *Нижний цветной отделочный слой* (lower color finish coat англ.). Дав затвердеть первому слою, не до окончательного высыхания, накладывают первый цветной слой толщиной 7–8 мм.

3. *Накрывочные цветные слои* (final surface coat англ.). Как только слегка окрепнет первый цветной слой, наносят накрывочный слой другого цвета. Количество слоев задается рисунком.

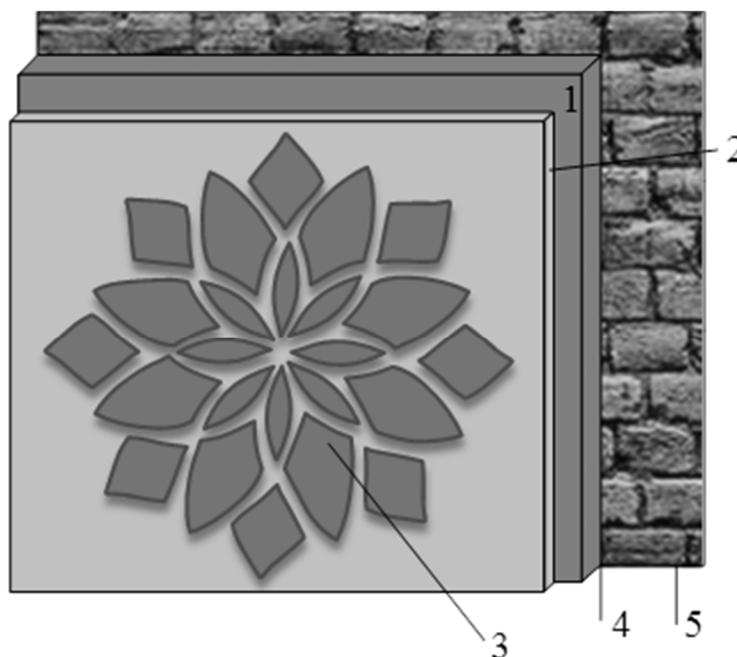


Рис. 5.4. Основные слои сграффито: 1 – грубый слой; 2 – нижний цветной отделочный слой; 3 – накрывочные цветные слои; 4 – грунтовка; 5 – стена

По *способу нанесения раствора на поверхность* сграффито можно разделить на три вида.

В случае *истинного сграффито* рисунок выцарапывают (вырезают) по влажному мягкому раствору (слою) в течение 5–6 ч после нанесения, иначе пересохший материал будет плохо резаться.

*Трафаретное сграффито* изготавливают с помощью наложения шаблонов или трафаретов на подготовленные накрывочные цветные слои.

*Смешанное сграффито* заключается как в совмещении первого и второго метода, так и в использовании фресковой живописи с целью более детальной проработки изображения (фресковое сграффито).

В зависимости от *количества нанесенных цветных слоев* сграффито делят на несколько разновидностей:

1. *Одноцветное тонкослойное сграффито*, в котором на цветную накрывку кистью наносят второй жидкий слой толщиной 0,3–0,5 мм, а затем процарапывают по рисунку, нанесенному припорохом по трафарету.

2. *Двухцветное сграффито* может быть исполнено без использования шаблона (трафарета) и с ним.

В первом случае на грунт наносят цветной слой, а после его отверждения второй слой другого цвета. Далее рисунок, переведенный через трафарет, процарапывают до обнажения нижнего слоя. Во втором случае на схватившийся и окрепнувший цветной слой устанавливают шаблон, по которому заполняют цветным раствором верхнего слоя прорезанные части узора. В итоге, убрав шаблон, получают двухцветный объемный и двухуровневый рельефный рисунок по высоте шаблона.

3. *Трехцветное сграффито* можно выполнить:

- методом сплошной накрывки, т.е. на грунт наносят две разноцветные накрывки, а третий слой окрашивают известковой краской. Толщина первого слоя 7–8 мм, второго – 3–4 мм, а окраски – 0,5–0,8 мм. Необходимо соблюдать осторожность при процарапывании вышележащего слоя дабы не повредить нижележащую накрывку;

- с применением шаблонов. Для сграффито готовят три цветных раствора и два шаблона, причем второй шаблон должен быть больше первого и полностью его закрывал. На отвердевший нижний цветной слой накладывают большой шаблон и заполняют имеющиеся в нем вырезы цветным раствором для второго слоя. После его затвердевания накладывают малый шаблон, прикрывая им большой, и заполняют его вырезы третьим цветным раствором. После затвердевания смеси шаблоны убирают, в результате получают трехцветный объемный и разноуровневый рисунок по высоте малого и большого шаблонов.

*Многоцветное сграффито* выполняют с использованием первых двух слоев из цветных растворов, а добавочные расцветки вводят методом фресковой живописи, т.е. росписью по сырой поверхности известковыми составами или разведенными в воде пигментами.

## **5.2. Материалы и составы слоев для сграффито и их приготовление**

В качестве основных компонентов для сграффито используют вяжущее вещество, наполнитель, красящие материалы (пигменты), воду и добавки.

Основным *вяжущим материалом*, применяемым в технике сграффито, является известь всех сортов, по возможности, наиболее медленно схватывающиеся для более продолжительной работы. Известь используют полностью прогидратированную (лучше в течение нескольких лет), чтобы не оставалось непогасившихся частиц СаО, которые на поверхности слоев могут вызвать так называемые дутики, что безвозвратно погубит создаваемую живопись.

Перед использованием известкового теста для приготовления раствора его следует тщательно перемешать для получения однородной массы или лучше пропустить через сито № 06 (с количеством отверстий приблизительно 600 отв/см<sup>2</sup>).

В состав нижнего не подвергающегося разрезке и процарапыванию слоя могут входить белый и цветные декоративные цементы. Портландцемент используют либо вместе с известью в качестве цементно-известкового раствора, либо вместо нее. Однако не рекомендуется применять быстросхватывающиеся цементы.

*Заполнителями* могут служить: речной кварцевый песок, мелкая крошка, пески цветных природных каменных пород, каменная пудра, порошок дробленного красного кирпича, мраморная пыль, молотый шлак, древесный уголь и др. В случае нанесения кистью тонкого верхнего выцарапываемого слоя в качестве инертного материала применяют в основном пудры: мраморную, толченого белого кварцевого песка и других каменных пород.

Крупность зерен заполнителя не должна превышать обычную их величину для накрывочных слоев, т.е. быть в пределах от 0,15 до 0,6 мм. Для верхних слоев используют фракции менее 0,15 мм. Перед введением в раствор заполнителя необходимо хорошо просушить, просеять или промыть для однородности и исключения из их состава посторонних включений (различного рода мусора, камешков и т.п.), что может в дальнейшем сильно ослабить слои сграффито.

В сграффито состав теста может быть известково-песчаным, известково-цементно-песчаным или цементно-песчаным.

В качестве *красящих материалов* в основном применяют минеральные щелоче- и светостойчивые пигменты.

Пигменты представляют собой тонкоизмельченные цветные порошки, которые не растворяются в воде и органических растворителях (спиртах,

скипидаре, маслах и др.), но хорошо смешиваются с ними и образуют суспензию или пасты необходимого цвета.

Требования к пигментам:

- должны быть технически чистыми;
- не изменяться в цвете при смешении между собой;
- не разрушаться от соприкосновения с известью;
- обладать способностью хорошо с ней связываться.

Примесь гипса в красках приводит к их несвязыванию с СаО и появлению на работе пятен и загрязнений. Пигменты используют в виде тонкодисперсного растертого порошка, легко смешивающегося с водой.

В технике сграффито в основном можно использовать следующие пигменты:

- гашеная известь, очищенный мел, баритовые и цинковые белила – *белый*;
- неаполитанская желтая различных оттенков, кадмий темных оттенков и оранжевый, охры светлые и золотистые темные, сиенна натуральная, марсы желтые, а также возможно светлый жёлтый кадмий, жёлтый ультрамарин и стронциановая желтая – *желтый и оранжевый*;
- красный кадмий различных оттенков, красные хромы, мумия, охры красные, английская красная и другие краски железистого состава, натуральные и искусственные – *красный*;
- умбра, жженые зеленая земля и сиенна, коричневые марсы – *коричневые*;
- оксид хрома, изумрудная зелень, зеленая земля лучших сортов, зеленый ультрамарин, зеленый кобальт – *зеленый*;
- синий кобальт, ультрамарин натуральный и искусственный – *синий*;
- фиолетовый ультрамарин и марсы, а также возможно фиолетовый кобальт светлый и темный, марганцовая фиолетовая – *фиолетовый*;
- жженая кость виноградная, а также возможно шунгит и олонецкая черная – *черная*.

Красящие вещества, приведенные выше, в основном предназначены для использования в интерьере, для экстерьера нельзя применять цинковые белила; ультрамарины всех оттенков и умбру (неустойчивы); красные кадмии (подлежат испытанию).

В табл. 5.1 указаны составы смесей для цветных слоев сграффито.

Таблица 5.1

Составы смесей для цветных слоев сграффито

Компоненты	Цвет штукатурки:				
	белый	желтый	красный	синий	коричневый
Белый песок	3	3,5	3	3	3,5
Охра	–	>0,2	–	–	0,3
Мумия	–	–	0,4	–	–
Ультрамарин	–	–	–	0,3	–
Умбра	–	–	–	–	0,1
Портландцемент	–	–	–	–	0,3

Для приготовления растворов в основном используют водопроводную питьевую, а также любую воду, соответствующую требованиям ГОСТ 23732–2011, имеющую водородный показатель pH не менее 4. Вода не должна содержать сульфатов более 2700 мг/л (в пересчете на SO<sub>4</sub>) и всех солей более 5000 мг/л. В сомнительных случаях пригодность воды для приготовления бетонной смеси необходимо проверять путем сравнительных испытаний образцов, изготовленных на данной воде и на обычной водопроводной.

В сграффито возможно использование полимерных *добавок*, которые позволяют увеличить толщину слоев для повышения декоративных возможностей техники (большой перепад рельефа плоскостей – богаче светотень) и получить их более насыщенными по цвету (благодаря связыванию добавки с пигментами). Модифицирование повышает показатели атмосферостойкости и прочности слоев. При этом модифицированные растворы обладают большей пластичностью (особенно важно при нанесении тонких слоев), адгезией к основаниям, жизнеспособностью (медленнее схватываются и твердеют).

Наиболее распространенным и широко используемым синтетическим полимером является поливинилацетатная дисперсия (ПВАД).

В технике сграффито можно выделить испытанные и проверенные временем основные рецепты слоев, представленные в табл. 5.2. В них все компоненты подобраны в необходимом соотношении друг другу.

Соотношение компонентов для слоев сграффито

Известковое тесто	Пигменты	Вода	Портландцемент	Наполнители\Добавки
<i>Известково-песчаный раствор</i>				
1	0,01–0,2	0,3–0,5	–	2 песок
<i>Известково-цементно-песчаный раствор</i>				
1–0,1	0,01–0,4	0,5–1,5	0,1–1	3–5 песок
<i>Известково-песчаный раствор, модифицированный ПВАД</i>				
1	0,01–0,4	1,0–1,5	–	3 песок ПВАД (50%) 0,1–0,3
<i>Известково-цементно-песчаный раствор, модифицированный ПВАД</i>				
0,1	0,01–0,5	1,0–1,3	0,5	5 песок ПВАД (50%) 0,2–0,5

### 5.3. Подготовка поверхности под сграффито

Перед началом подготовки поверхности под сграффито проверяют ее горизонтальность и вертикальность. До работы необходимо устранить все выступающие или неровные элементы поверхности. Плоскость стен или других оснований должны быть сухими, выстоявшимися, осевшими и не всасывающими в себя грунтовых вод.

Кирпичные, каменные, бетонные и другие поверхности (подложки) правильной формы нужно очистить от пыли, грязи, жировых и битумных пятен, что можно сделать пескоструйным аппаратом или промыть водой под напором. Входящие в состав подложки материалы не должны содержать в себе растворимых в воде органических или минеральных веществ, в связи с выделением последних на поверхности сграффито в виде кристаллизаций, окрашенных пятен и другого, что может нанести более или менее непоправимый вред готовой работе.

Перед нанесением слоев под сграффито покрывают всю поверхность грунтовкой (специальный однородный жидкий состав), необходимой для создания прослойки между декоративным покрытием и основанием, что позволит смягчить неблагоприятные воздействия температуры, влажности, микродеформации, а также укрепит несущий слой.

На обработанную грунтовкой поверхность наносят грунтовочный слой (*грубый слой*) методом набрызга. Он выровняет подложку и создаст на ней шероховатую поверхность, равномерно подсасывающую из слоев сграффито

воду, что позволит в дальнейшем получить надежное сцепление (адгезии) и более прочную связь слоев сграффито с грунтом и предохранить их от растрескивания. А также шероховатости на плоскости можно добиться путем нарезки или насечки борозд. Нанесенный грунт выдерживают, смачивая водой.

После затвердевания грубого слоя, но не до окончательного его высыхания, кладут *нижний цветной отделочный слой* толщиной 7–8 мм (через более тонкий слой может просвечивать грунт), при этом разравнивают раствор и уплотняют во избежание образования в нем раковин. Как только он схватится (через 15–30 мин) и слегка окрепнет, наносят *накрывочный слой* другого цвета: один, если предусмотрено двухслойное сграффито, или несколько для многослойного. Количество накрывок задается рисунком согласно проекту.

Второй накрывочный цветной слой может быть толщиной от 2 до 5 мм, а последующие – такими же или 1–2 мм. Если поверхность окрашивают с помощью кисти, то толщина слоя цветного раствора (краски) может быть от 0,5 до 1,0 мм.

Если накрывочный слой пересохнет, его смачивают водой, и после того как она впитается, наносят следующий. Последнюю накрывку всегда затирают даже в том случае, если на него будут накладывать еще слои с кисти.

Для предотвращения появления трещин и уменьшения значения внутренних напряжений необходимо, чтобы грунт, накрывочные и цветные выцарапываемые слои состояли на основе извести и обладали одинаковыми свойствами.

#### **5.4. Способы нанесения сграффито на поверхность**

В сграффито в основном существует три техники нанесения:

##### **1. Выцарапывание.** Собственно, и есть истинное сграффито.

После нанесения последнего поверхностного слоя на поверхность наносится рисунок. Для этого подготавливают рисунок на картоне и по его контурам прокалывают отверстия (рис. 5.5, б). Затем места проколов опудривают мелом из марлевого мешочка (рис. 5.5, в).

По контуру перенесенного рисунка верхние цветные слои процарапывают специальными стальными инструментами (рис. 5.5, г).

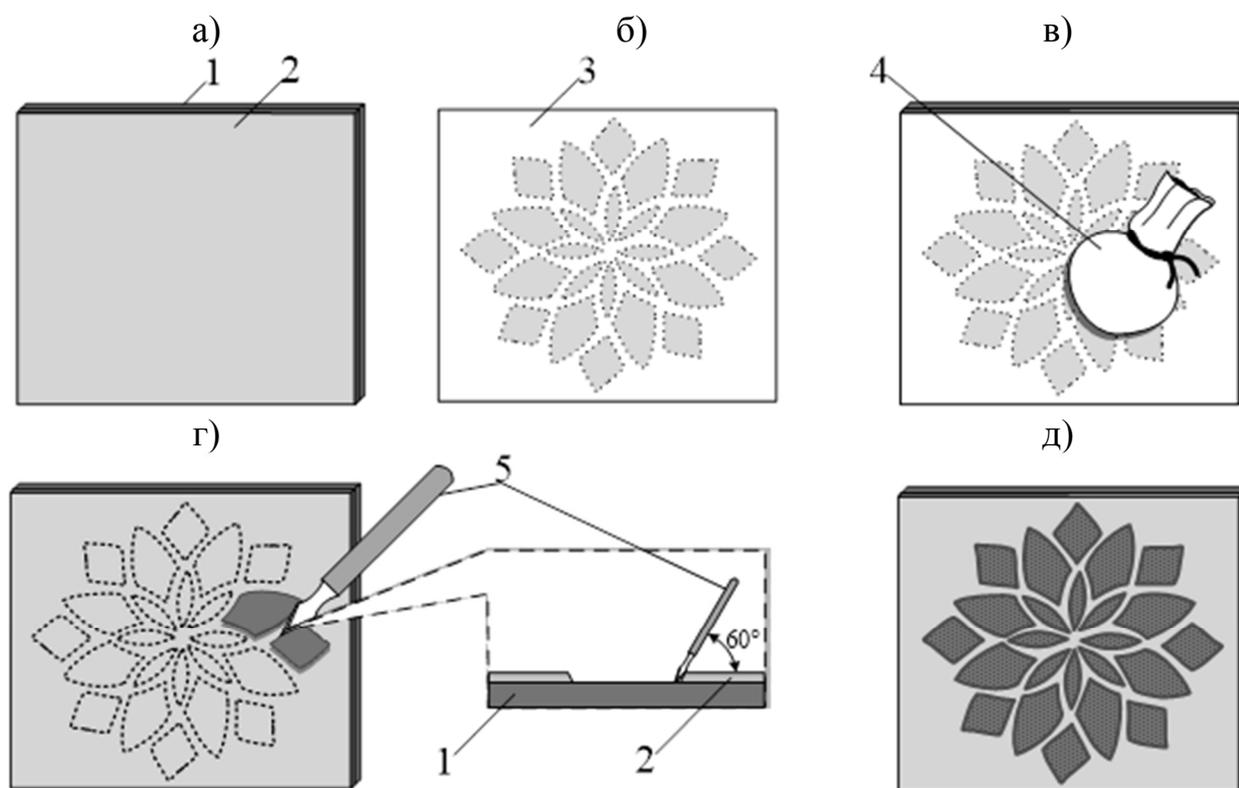


Рис. 5.5. Выцарапывание сграффито: а – подготовленная поверхность; б – подготовленное изображение на картоне с проколами по контуру; в – перенос рисунка методом припорошивания; г – выцарапывание цветного слоя; д – готовое сграффито; 1 – последний поверхностный слой; 2 – цветной слой; 3 – картон с изображением; 4 – марлевый мешочек; 5 – резец

Раствор снимают на разную глубину, при этом каждый слой может быть определенного цвета. В результате работы получают красочный рельефный рисунок. Кроме того, количество слоев возможно от двух и более в зависимости от творческой задумки и сложности рисунка.

Работу по выцарапыванию нужно выполнять быстро в течение 5-6 ч, чтобы слои не пересохли. Следовательно, цветные слои необходимо наносить в таком количестве, которое возможно обработать за одно отведенное время.

Поверхностный слой подрезают по линии рисунка не под прямым углом, а с некоторым уклоном (рис. 5.5, г). Эти кромки предохраняют рисунок от разрушения, а также не дают влаге задерживаться по краям подреза. Подрезанный верхний слой аккуратно удаляют, обнажая расположенный под ним слой другого цвета.

В многослойном сграффито каждый пласт цветной накладки прорезают по очереди, в итоге получая полихромную монументальную живопись.

**2. Трафаретный способ.** Такой вариант исполнения сграффито представляет собой набивку цветными растворами по шаблонам с целью получения красочного объемного изображения (рис. 5.6).

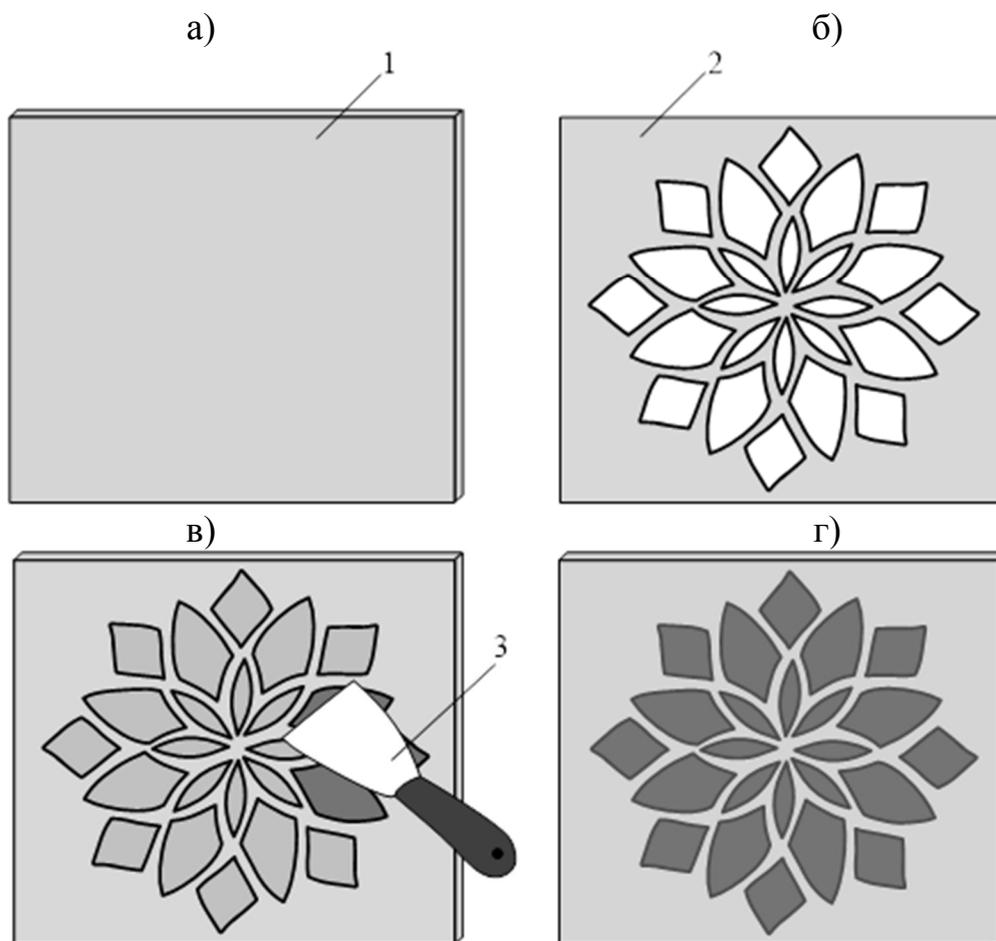


Рис. 5.6. Трафаретный способ сграффито: а – поверхность с нанесенным цветным слоем; б – подготовленный трафарет; в – наложенный трафарет на поверхность; г – готовое сграффито; 1 – цветной слой; 2 – трафарет; 3 – шпатель

Для получения выпуклого рисунка на поверхность с накрывочным цветным слоем (рис. 5.6, а) накладывают трафарет (рис. 5.6, б) на место предполагаемого изображения, далее временно его закрепляют или просто придерживают. В пустоты шаблона по рисунку (рис. 5.6, в) лопаточкой или шпателем наносят состав необходимого цвета и разравнивают. Если необходима гладкая фактура, то поверхность затирают.

После схватывания раствора (через 0,5–1 ч) снимают трафарет, предварительно пристукивая по нему для лучшего отслоения. При этом на месте снятого шаблона на поверхности остается выпуклая цветная фигура (рис. 5.6, г).

**3. Смешанный способ** может быть выполнен в нескольких вариантах: сочетанием выцарапанных рисунков с выполнением некоторых элементов трафаретами, а также и с более детальной проработкой изображения методом фресковой живописи (рис. 5.7).

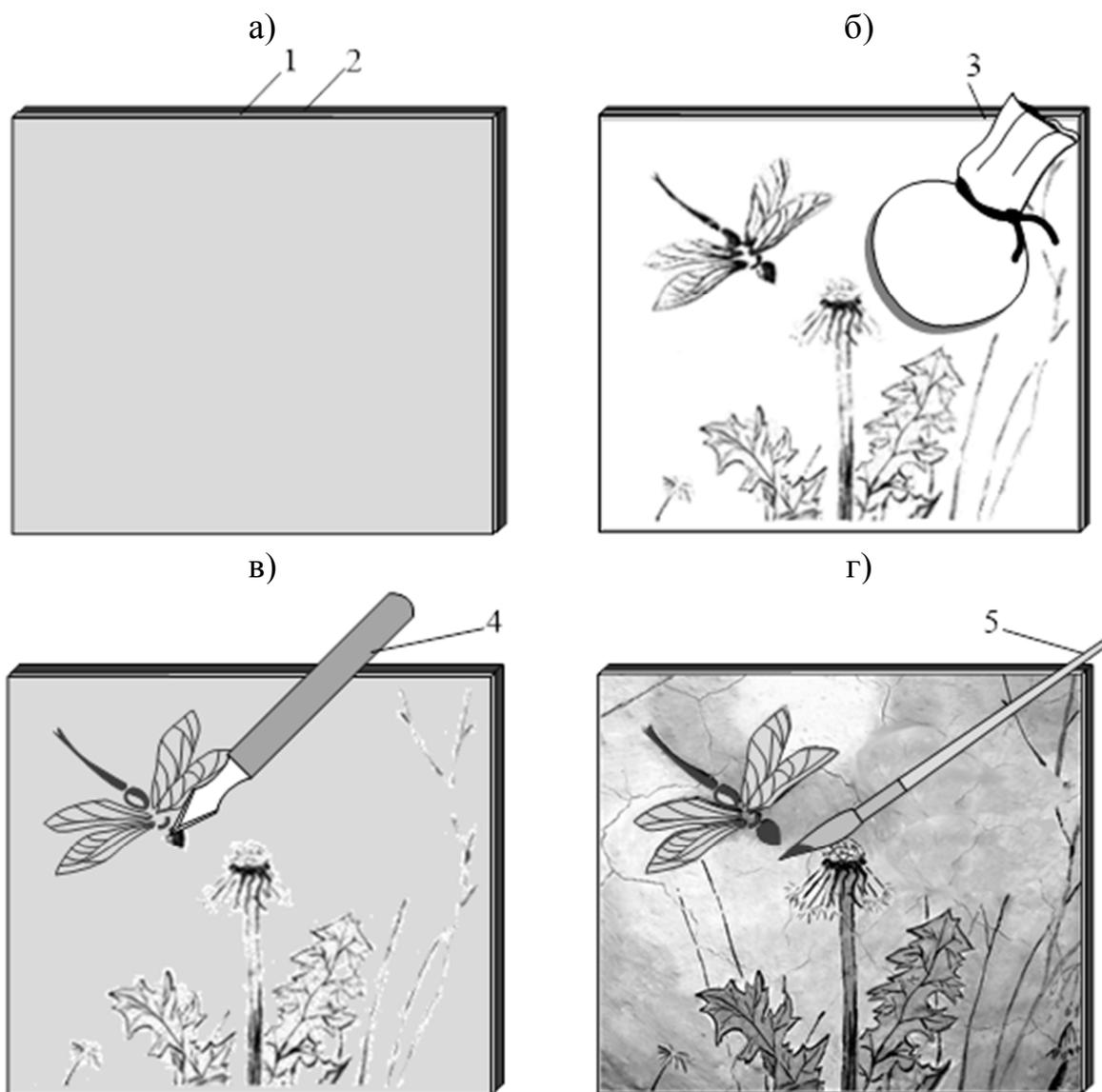


Рис. 5.7. Смешанный способ сграффито: а – поверхность с нанесенным цветным слоем; б – перенос рисунка; в – выцарапывание цветного слоя; г – детальная роспись изображения; 1 – последний поверхностный слой; 2 – цветной слой; 3 – марлевый мешочек; 4 – резец; 5 – кисть

На подготовленную поверхность подложки (рис. 5.7, а) переводят рисунок (рис. 5.7, б) методом припорошивания, т.е. с помощью опудривания мелом из марлевого мешочка. По контуру перенесенного орнамента цветные накрывочные слои процарапывают специальным резцом (рис. 5.7, в), снимая раствор на разную глубину, как описано в методе выцарапывания.

Более детальную и тонкую проработку поверхности выполняют с помощью росписи кистью растворами пигментов методом фресковой живописи. Благодаря этому получают эффектные работы с элементами фрески на поверхности изделия.

### **5.5. Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте понятие сграффито.
2. Какой слой в сграффито предназначен для равномерного поглощения и удержания влаги?
3. Опишите основные слои в технике сграффито.
4. Какие техники сграффито вы знаете?
5. Какими инструментами можно пользоваться при выполнении техники сграффито?
6. Дайте характеристику материалов для выполнения сграффито.
7. Какие вещества используют в качестве вяжущих материалов?
8. Приведите требования к вяжущим веществам, используемым в технике сграффито?
9. Что используют в качестве заполнителей в сграффито?
10. Какие требования предъявляют к воде?
11. Какие красящие материалы применяют в сграффито?
12. Что такое пигменты?
13. Назовите требования к пигментам.
14. Какие добавки можно использовать в сграффито?
15. Зачем вводят добавки в материалы для сграффито?
16. В чем заключается подготовка поверхности под сграффито?
17. Опишите этапы выполнения работы в технике сграффито.
18. Расскажите о выполнении сграффито методом "выцарапывания".
19. Как изготовить сграффито трафаретным способом?
20. В чем заключается сущность смешанного способа сграффито?
21. Какие отличия имеются между истинным и смешанным сграффито?
22. Какие инструменты используются при выполнении истинного сграффито?
23. Какие отличия существуют между истинным и трафаретным сграффито?

## 6. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

В настоящее время основным строительным материалом остается портландцемент. **Портландцементом** является гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе. Его получают путем совместного тонкого измельчения продукта обжига до спекания тонкодисперсной однородной сырьевой смеси с гипсом, а иногда и со специальными добавками. Сырьевые компоненты должны обеспечивать преобладание в составе высокоосновных силикатов кальция (70–80 %).

Основными сырьевыми материалами для получения портландцемента являются карбонатные (мел, известняк, мергель и др.) 75–78 мас. %, алюмосиликатные (глина, шлаки, золы ТЭЦ и др.) 22–25 мас. % и корректирующие (железосодержащие: огарки, шлак и др.) компоненты до 5 мас. %. Ценным сырьем являются мергели – природные смеси известняка и глины.

В природе наиболее распространены карбонаты кальция. Они являются основным сырьем цементной промышленности. Из **карбонатных пород** используют известняк, мел, известняк-ракушечник, мрамор, известковый туф и др. Эти породы состоят в основном из углекислого кальция  $\text{CaCO}_3$ , чаще применяют известняки и мел, осадочное происхождение которых обуславливает разнообразие химического состава и физических свойств. Качество карбонатных пород зависит от структуры, количества примесей, равномерности распределения их в массе сырья.

**Глинистые породы** – второй основной компонент портландцементных сырьевых смесей – представляют собой тонкодисперсные (менее 0,001 мм) глинистые минералы, содержащие кварцевые, железистые, алюмосодержащие оксиды и др. Основой глин являются водные алюмосиликатные минералы (каолиниты, монтмориллониты, гидрослюды). Глинистые породы подразделяют на группу каолинитов, монтмориллонитов и глинистых гидрослюд.

Глинистое сырье имеет разнообразный минералогический и гранулометрический состав даже в пределах одного месторождения, а также существенно отличаются по структуре и физическим свойствам.

В большинстве случаев требуемую смесь из двух компонентов получить практически не удастся, и поэтому применяют третий компонент – **корректирующие добавки**. Они представляют собой специальные вещества, которые необходимо вводить в сырьевую смесь в случае недостатка в ее химическом составе определенных оксидов. В качестве железистых добавок

обычно используют пиритные огарки с сернокислотных заводов, реже – ко-лошниковую пыль доменных печей.

*Природный гипс* используют как регулятор сроков схватывания цемента, который взаимодействует с трехкальциевым алюминатом с образованием на нем прочной пленки этtringита. Эта пленка замедляет процессы гидратации и схватывания цемента. Описание и характеристика природного гипса даны в начале главы 2.

В качестве *минеральных добавок* применяют гранулированный шлак, различные активные минеральные добавки и добавку-наполнитель – известняк.

### 6.1. Классификации портландцемента

Портландцемент имеет несколько разновидностей, которые приведены на рис. 6.1.

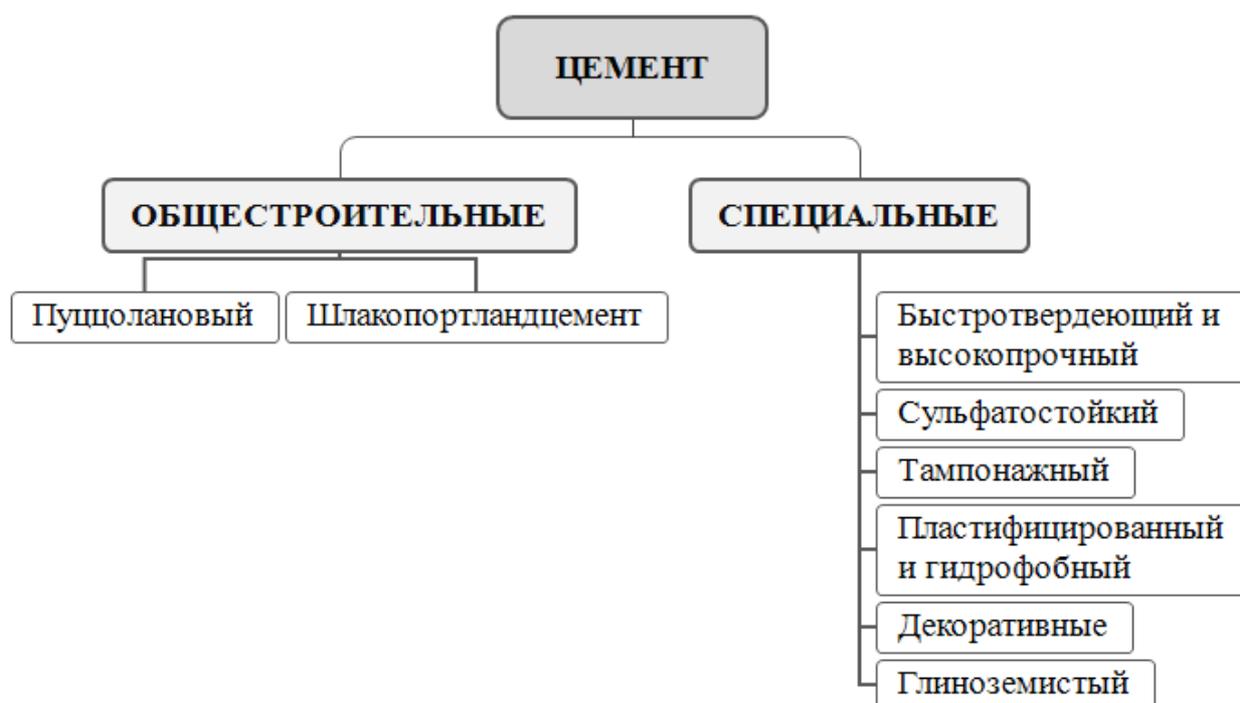


Рис. 6.1. Разновидности портландцемента

В соответствии с ГОСТ 31108–2016 по вещественному составу цемента подразделяют на пять типов:

- ЦЕМ I – портландцемент;
- ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками;
- ЦЕМ III – шлакопортландцемент;
- ЦЕМ IV – пуццолановый цемент;
- ЦЕМ V – композиционный цемент.

По прочности на сжатие в возрасте 28 сут цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5. По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут (скорости твердения) каждый класс цементов, кроме класса 22,5, подразделяют на два подкласса: Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий) в соответствии с табл. 6.1.

По ГОСТ 31108–2016 требования к физико-механическим свойствам приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Требования к физико-механическим свойствам цементов

Класс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	2 сут, не менее	7 сут, не менее	28 сут			
			не менее	не более		
22,5Н	–	11	22,5	42,5	75	10
32,5Н	–	16	32,5	52,5		
32,5Б	10	–				
42,5Н	10	–	42,5	62,5	60	
42,5Б	20	–				
52,5Н	20	–	52,5	–	45	
52,5Б	30	–				

Примеры условных обозначений:

- портландцемент типа ЦЕМ I, класса прочности 42,5 быстротвердеющий: ЦЕМ I 42,5Б;
- шлакопортландцемент типа ЦЕМ III, подтипа А с содержанием доменного гранулированного шлака от 36 до 65 %, класса прочности 42,5 нормальнотвердеющий: ЦЕМ III/А 42,5Н.

## 6.2. Химический и минералогический состав цемента

Качество цемента в основном зависит от его химического и минералогического состава: первый характеризуется содержанием оксидов, а второй – количественным соотношением минералов, образующихся в процессе обжига.

Главными оксидами портландцемента являются: оксид кальция СаО (63–66 мас. %), диоксид кремния SiO<sub>2</sub> (21–24 мас. %), оксиды алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4–8 мас. %) и железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2–4 мас. %), суммарное содержание которых достигает обычно 95–97 %. Кроме них, в состав цемента могут входить в небольших количествах различные примесные соединения.

В цементе каждый из основных оксидов выполняет определенную роль. Так, *оксид кальция* связывается в химические соединения с кислотными оксидами, т.е. образует силикаты и алюминаты кальция.

В свободном состоянии CaO вызывает неравномерность изменения объема, так как он является пережженным и поэтому при затворении цемента не сразу реагирует с водой, а гидратируется уже в затвердевшем цементном камне с увеличением объема и появлением опасных напряжений.

Высокое содержание *оксида кремния* в связанном состоянии в составе цемента приводит к замедленной скорости твердения в начальные сроки при достаточно интенсивном нарастании прочности в длительные сроки, однако это способствует повышенной водо- и сульфатостойкости.

Главная роль оксидов кальция и кремния в образовании трехкальциевого и двухкальциевого силикатов, способных к гидравлическому твердению. Массовое их отношение (CaO/SiO<sub>2</sub>) должно быть не менее 2,0.

*Оксид алюминия* образует в период обжига алюминаты кальция, которые регулируют сроки схватывания цемента, а также и алюмоферриты кальция. Высокоалюминатные цементы быстрее схватываются и твердеют, но обладают низкой водо-, сульфато- и морозостойкостью.

*Оксид железа* снижает температуру спекания материала и образует за счет низкой температуры плавления легкоплавкие эвтектики в процессе образования продукта обжига, а также входит в состав алюмоферрита и стеклофазы.

Кроме того, оксиды алюминия и железа способствуют появлению при температуре обжига необходимого количества расплава.

Самым нежелательным примесным соединением является *оксид магния*, который находится в пережженном (малоактивном) состоянии, поэтому не реагирует с другими оксидами и не растворяется в расплаве. MgO находится в цементе в виде пассивного периклаза с крайне низкой склонностью к гидратации на стадии затворения цемента. Он начнет гидратироваться только при повышенной температуре во время термовлажностной обработки изделий, что идет с увеличением объема, приводящее к возникновению напряжений и трещин и, как следствие, снижению прочности изделий. Однако меньшее количество (2–3 %) оксида магния интенсифицирует процессы минера-

лообразования вследствие увеличения объема расплава и снижения его вязкости.

*Ангидрид серной кислоты*  $SO_3$  в виде гипса необходим для регулирования (замедления) сроков схватывания портландцемента за счет снижения скорости гидратации трехкальциевого алюмината, улучшая этим сроки схватывания цемента. Его содержание в цементе ограничивается пределами от 1,5 до 3,5 %. Более высокое количество  $SO_3$  может вызвать неравномерное изменение объема цемента.

Главные оксиды в результате обжига образуют силикаты, алюминаты и алюмоферриты кальция в виде минералов кристаллической структуры, часть их входит в стекловидную фазу. Основными минералами в цементе являются трехкальциевый силикат  $3CaO \cdot SiO_2$  (сокращенно  $C_3S$ ), двухкальциевый силикат  $2CaO \cdot SiO_2$  (сокращенно  $C_2S$ ), трехкальциевый алюминат  $3CaO \cdot Al_2O_3$  (сокращенно  $C_3A$ ) и четырехкальциевый алюмоферрит  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$  (сокращенно  $C_4AF$ ).

*Алит* – это твердый раствор на основе  $3CaO \cdot SiO_2$ . Он является важнейшим минералом-силикатом, определяющим высокую прочность в ранние сроки, пониженную водо- и коррозионную стойкость и ряд других свойств портландцемента, а также обладает повышенной гидравлической активностью и скоростью твердения. В составе  $C_3S$  обычно содержится в количестве 45–60 %.

*Белит* представляет собой твердый раствор на основе  $\beta\text{-}2CaO \cdot SiO_2$ . Он является вторым основным минералом портландцемента, отличается медленным твердением с меньшей активностью, но обеспечивает достижение высокой прочности при длительном твердении портландцемента с повышенными водо- и коррозионной стойкостью.  $\beta\text{-}C_2S$  содержится в обычных цементах в количестве 15–30 %.

*Промежуточное вещество*, расположенное между кристаллами алита и белита, включает алюмоферритную и алюминатную фазы, а также второстепенные минералы в кристаллическом виде и стекловидную фазу. Все эти фазы при высоких температурах обжига находятся в расплавленном состоянии.

*Алюминатная фаза* – это твердый раствор на основе  $3CaO \cdot Al_2O_3$  – активно и быстро участвует в процессе твердения особенно в начальный пери-

од с большим тепловыделением, но сам продукт твердения имеет невысокую прочность и пониженную водо- и коррозионную стойкость.

*Алюмоферритная фаза* представляет собой твердый раствор алюмоферритов кальция разного состава, который в свою очередь зависит от состава сырьевых смесей, условий обжига и т. п. В основном она по своему составу близка к четырехкальциевому алюмоферриту  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ .  $\text{C}_4\text{AF}$ , по гидравлической активности, скорости твердения и прочности занимает промежуточное положение между трехкальциевым и двухкальциевым силикатами, но обладает повышенными водо- и коррозионной стойкостью.

*Стеклофаза* обычно присутствует в промежуточном веществе в количестве 5–15 %. Стекло состоит преимущественно из  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а также присутствуют обычно  $\text{MgO}$  и щелочи  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . Оно способствует склеиванию основных минералов в единый конгломерат.

### 6.3. Гидратация и твердение портландцемента

Портландцемент являет собой полиминеральную систему, в ней каждый из основных минералов привносит свой определенный вклад в формирование прочной монолитной структуры цементного камня. Так, основными стадиями процесса гидратации и твердения портландцемента являются:

- растворение с поверхности зерна кристаллов-минералов в воде с образованием пересыщенных водных растворов;
- кристаллизация из таких растворов новых соединений, содержащих воду (кристаллогидратов);
- перекристаллизация образовавшихся кристаллогидратов во времени в более стабильные для данных температурно-влажностных условий соединения;
- формирование физической структуры цементного камня.

В момент затворения порошка портландцемента водой (рис. 6.2, а) основные минералы, а также гипс начинают активно взаимодействовать с ней независимо друг от друга. При этом наиболее активны именно поверхности кристаллов, имеющие дефекты структуры.

Вводимый при помолу *двуводный гипс* при затворении водой образует пересыщенный раствор, из которого  $\text{CaSO}_4$  активно реагирует с *трехкальциевым алюминатом* ( $\text{C}_3\text{A}$ ), образуя высокосульфатную форму гидросульфалюмината – минерал этtringит –  $(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 31\text{--}32\text{H}_2\text{O})$ . Он

осаждается на поверхности частиц  $C_3A$  с образованием водонепроницаемой пленки, которая замедляет скорость его гидратации, улучшая этим условия схватывания цемента.

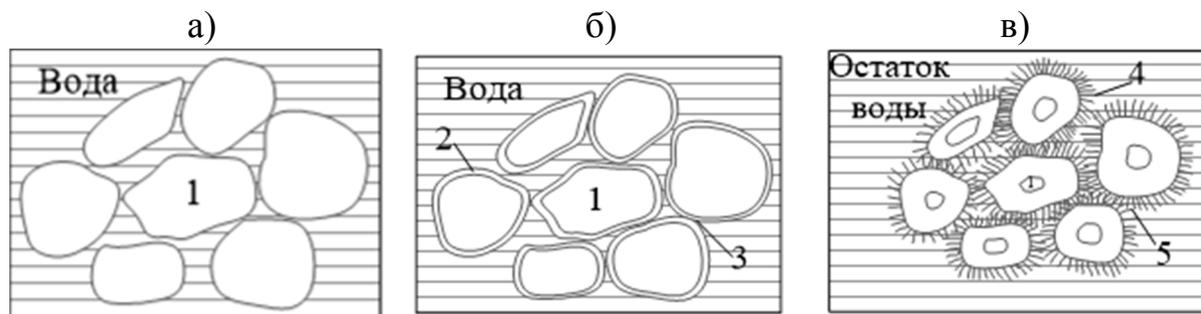


Рис. 6.2. Гидратация и твердение цемента: а – смешение цемента с водой; б – образование гидратных оболочек; в – формирование прочных связей; 1 – цемент; 2 – гелеобразная пленка; 3 – слабые связи; 4 – волокнистые и столбчатые структуры на поверхности зерен и в порах; 5 – сцепление волокон между собой

Сразу после затворения водой при комнатной температуре **трехкальциевый силикат ( $C_3S$ )** быстро образует гидросиликаты кальция переменного состава и гидроксид:



В результате протекания данной реакции на поверхности частиц образуется тонкая гелевая гидратная оболочка<sup>1</sup> (рис. 6.2, б). Образовавшаяся пленка препятствует как выходу продуктов гидратации в межзерновое пространство, так и мешает дальнейшему проникновению воды внутрь зерна  $C_3S$ .

Гидролиз и гидратация зерна  $C_3S$  протекают по мере проникания воды под образующуюся пленку из продуктов гидратации, которая из-за образования большего количества (по объёму) продуктов гидратации периодически отслаивается, облегчая доступ воды к новым, непрореагировавшим слоям материала.

Взаимодействуя с водой при комнатной температуре, **двухкальциевый силикат ( $C_2S$ )** гидратируется с образованием гидросиликатов кальция  $C_2SH_2$  и  $CSH(V)$ , аналогичных образующимся при гидратации (гидролизе)  $C_3S$ . Продукты гидратации образуют на поверхности зерен исходного  $C_2S$  плотные пленки, препятствующие прониканию воды в глубь реагирующей частицы.

<sup>1</sup> представляющая собой полупроницаемую мембрану.

Взаимодействие  $C_3A$  с водой протекает очень активно, и в зависимости от условий гидратации образуются гидроалюминаты кальция различного состава. Последние выделяются и образуют на поверхности зерен  $C_3A$  рыхлую оболочку, проницаемую для воды.

**Четырехкальциевый алюмоферрит ( $C_4AF$ )** при взаимодействии с водой образует различные кристаллогидраты, расщепляясь на гидроалюминат и гидроферрит. Однако через несколько минут частицы  $C_4AF$  покрываются оболочкой из мелких кристаллогидратов и геля гидроксида железа, которая тормозит последующее протекание реакции.

### ***Твердение портландцемента***

По *кристаллизационной гипотезе Ле-Шателье* вяжущее, растворяясь в воде, образует гидратные соединения, которые имеют меньшую растворимость, чем исходное вещество. Из возникшего пересыщенного раствора кристаллизуются новообразования, которые, срастаясь друг с другом, вызывают схватывание и твердение портландцемента.

По *коллоидно-химической гипотезе Михаэлиса* твердение портландцемента обусловлено образованием гелеобразной массы гидросиликатов кальция, которые возникают вследствие присоединения воды к исходному веществу без его растворения. Гелеобразная масса склеивает частицы вяжущего и заполнителя, причем вначале происходит взаимодействие частиц цемента с водой по поверхности зерен. С течением времени протекает гидратация более глубоких слоев зерен цемента, которые, отсасывая воду из геля, вызывают его уплотнение и отвердевание.

Согласно *гипотезе А.А. Байкова*, процесс твердения цемента можно разбить на три периода.

В первый, подготовительный период образуется насыщенный по отношению к продуктам гидратации раствор. Во втором периоде – коллоидации – происходит образование гелеобразных масс путем непосредственного присоединения воды к исходному продукту, минуя стадию растворения. В третий период – кристаллизации – коллоидные частицы перекристаллизуются в большие кристаллы и образуют сросток, что сопровождается твердением системы и ростом прочности. Все эти периоды протекают не строго последовательно один за другим, а налагаются друг на друга. Например, в твердеющем несколько лет цементном камне процесс растворения и кристаллизации отдельных фаз может протекать одновременно с образованием гелей.

*Современная теория* твердения портландцемента заключается в следующем: в твердеющем цементном тесте за счет роста этtringита, портландита и других кристаллических новообразований создается первичный каркас. Он по мере выделения из пересыщенного раствора гидратных соединений упрочняется из-за укрупнения кристаллов каркаса и образования новых контактов между ними, т.е. в пространстве между частицами цемента происходит свободный рост тонких густо расположенных волокон (рис. 6.2, в). Они постепенно пронизывают все пространство между зернами и сцепляются друг с другом, формируя жесткий и прочный каркас. Концу этого периода обычно соответствует *начало схватывания* твердеющей среды.

Второй период твердения с повышенным тепловыделением системы продолжается до насыщения раствора продуктами гидратации и интенсивного образования кристаллогидратов новообразований, которые «залечивают» поверхность зерен, задерживая поступление к ним новых порций раствора. Первые часы этой стадии твердения (через 6–10 ч с момента затворения) соответствуют *концу схватывания* цементного теста.

На следующей стадии твердения образуются длиноволокнистые кристаллы гидросиликатов кальция, которые прорастают в поровое пространство, причем чем дальше от гидратирующегося зерна они удалены, тем более отчетливую игольчатую форму кристаллов они имеют.

Дальнейшее твердение цементного камня протекает за счет все более уплотняющейся оболочки новообразований и сопровождается уплотнением геля, усилением каркаса за счет кристаллизации гелеобразных новообразований, уменьшения первоначального объема твердеющего теста.

#### **6.4. Свойства портландцемента**

Ценные строительно-технические свойства портландцемента обуславливают его широкое применение во многих отраслях.

Истинная *плотность* портландцемента без добавок в зависимости от его химико-минералогического состава составляет 3000–3200 кг/м<sup>3</sup>, а насыпная плотность в рыхлом состоянии колеблется от 900 до 1000 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном – от 1400 до 1700 кг/м<sup>3</sup>.

*Тонкость помола* цемента должна быть такой, чтобы при просеивании пробы цемента сквозь сито с сеткой № 008 проходило не менее 85 % массы

просеиваемой пробы. Рядовой портландцемент имеет тонкость помола, характеризующуюся удельной поверхностью 300–350 м<sup>2</sup>/кг.

Увеличение тонкости помола до 400–450 м<sup>2</sup>/кг приводит к ускорению набора прочности. Однако при увеличении тонкости помола возрастает водопотребность. Чем выше тонкость помола цемента, тем быстрее он снижает свою активность при хранении на воздухе (более тонкий цемент имеет меньшее водоотделение). Увеличение тонкости цемента требует повышенного количества гипса как регулятора сроков схватывания.

**Нормальная густота** – это такая консистенция цементного теста, при которой пестик прибора Вика погружается в тесто на глубину и используется для определения рационального значения водоцементного (В/Ц) отношения.

**Водопотребность** цементного теста представляет собой количество воды, которое нужно для получения теста нормальной густоты. Водопотребность портландцементов колеблется в пределах 24–28 % от массы цемента.

Водопотребность зависит от многих факторов: минералогического состава, тонкости помола, присутствия добавок. Она, например, возрастает с увеличением тонкости помола, содержания алюминатов, активных добавок осадочного происхождения, а также можно ее регулировать в значительных пределах с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые оказывают разжижающее действие.

**Схватывание цементного теста** – это процесс, при котором относительно подвижная смесь цемента с водой постепенно густеет, с потерями ее подвижности, и приобретает начальную прочность. При этой прочности механическая переработка цементной пасты становится практически затруднительной и даже невозможной (в конце схватывания). Начало схватывания для цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания – не позднее 12 ч от момента смешения цемента с водой.

Сроки схватывания цементов зависят от многих факторов и подчиняются регулированию в довольно широких пределах.

В значительной мере отражается на скорости схватывания минералогический состав цементов. Так, цементы с повышенным содержанием алюминатов кальция характеризуются более короткими сроками схватывания, тогда как белитовые цементы схватываются медленнее.

Сроки схватывания цемента можно регулировать введением различных добавок.

С увеличением В/Ц и понижением температуры скорости схватывания и твердения уменьшаются и наоборот. Увеличение тонкости помола цемента также способствует увеличению скорости его схватывания.

Механическая **прочность цементного камня** – это способность цемента твердеть при взаимодействии с водой и переходить в камневидное состояние. Она является важнейшей характеристикой. Чем выше механическая прочность затвердевшего камневидного тела (цемента, раствора, бетона) и чем скорее она достигнута, тем выше качество цемента. Ее оценивают по пределу прочности при сжатии, изгибе, растяжении и скалывании образцов различной формы.

Факторы, влияющие на прочность цемента, могут быть разделены на химико-минералогические, технологические, технические.

Активность<sup>1</sup> цемента связана не только с его тонкостью помола – чем она выше до определенного предела, тем выше активность цемента, – но и его гранулометрией. Цемент полидисперсного гранулометрического состава позволяет получить более плотный цементный камень.

С увеличением температуры твердеющей цементной массы в пределах от 25 до 100 °С и более скорость гидратации цемента возрастает, чем в случае твердения его при нормальных условиях.

**Равномерность изменения объема** при твердении – признак, обуславливающий целостность цементного камня, поскольку цементы с неравномерным расширением объема приводят к снижению или полному разрушению изделия. Причина неравномерного расширения объема – присутствие в цементе соединений (свободный (пережженный) оксид кальция более 1,5–2 % и периклаз более 5 %), реакции гидратации которых начинаются позднее гидратации основных минералов и идут медленнее, кроме того, образованием в твердеющем цементе этрингита при повышенном содержании  $C_3A$  и при избыточном введении гипса в портландцемент.

**Усадка и набухание цементного камня.** Если цементный образец поместить в среду, относительная влажность которой ниже равновесной влажности образца, то последний со временем уменьшит свои линейные размеры – дает усадку. Данное явление происходит вследствие высыхания изделия – испарения воды. С высыханием воды связано проявление капиллярных сил –

---

<sup>1</sup> это предел прочности при сжатии цементных образцов в 28-суточном возрасте.

сил сжатия, которые могут быть столь значительными, что вызовут появление напряжений в материале и трещин.

**Ползучесть** цементного камня или изделия из него – способность необратимо деформироваться под действием механических и других факторов. Ползучесть зависит от достигнутой прочности цементного камня или бетона перед нагрузкой и тем меньше, чем выше прочность перед нагружением. Она практически затухает к двум годам после нагружения конструкции.

### **6.5. Декоративный портландцемент**

Дизайн современного строительства характеризуется широким использованием различных архитектурных приемов и разнообразием цветокомпозиции, которая строится на многоцветии отделки фасадов зданий, а также интерьеров и ландшафтного дизайна.

Современные строительные материалы должны обладать необходимым комплексом строительно-технических и декоративных свойств, особенно в условиях скоростного индустриального высотного строительства. Применяемые для этих целей декоративные строительные материалы должны соответствовать жестким требованиям по прочности, атмосферо-, коррозионной и морозостойкости, а также обеспечивать возможность создания широкой гаммы цветовых композиций, стойких в различных климатических условиях.

Проблема формирования цветовой гаммы среды на различных уровнях современного градостроительства является чрезвычайно актуальной. К таким современным эффективным строительным материалам относятся белый портландцемент и цветные цементы на его основе, а также сухие декоративные отделочные смеси и бетоны с их использованием.

Белый цемент дает возможность производителям цементной продукции и бетонных изделий, а также архитекторам отличную основу для осуществления разнообразных замыслов. Позволяет работать с формами, наполнителями, цветностью, а также применять различные технологии бетонирования, отделки и обработки затвердевшей поверхности.

#### ***Белый портландцемент***

*Белый портландцемент* – это разновидность портландцемента с характерным и равномерным белым цветом, получаемая из продукта обжига с очень низким содержанием красящих веществ.

Белый цемент, благодаря красивому цвету, широко применяют не только для строительных работ (рис. 6.3, а), но и для создания скульптур (рис. 6.3, б) и других архитектурных форм (рис. 6.3, в).

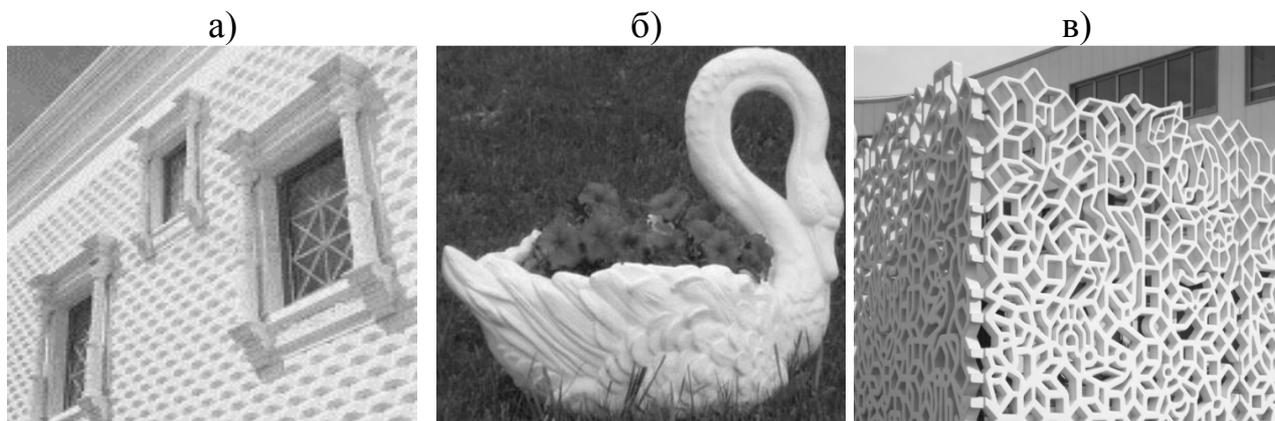


Рис. 6.3. Применение белого цемента: а – отделка фасада здания; б – скульптура; в – ажурный забор

Преимущества использования белого цемента:

- максимальная прочность и ускоренные сроки твердения материала, т.е. через 16 ч твердения раствора она составляет уже 60 %;
- высокая плотность готового изделия, которая не дает материалу разрушаться под влиянием агрессивных растворов и атмосферной влаги;
- экологичность готовых изделий на основе цемента, благодаря использованию в производстве натуральных минералогических компонентов;
- обладают стойкостью к образованию трещин (сколов). Такие достоинства материала минимизируют затраты на ремонтные или реставрационные работы;
- эстетичность белизны, цветоустойчивость цемента и универсальность позволяет совмещать его с другими отделочными декоративными материалами.

Белые портландцементы выпускают в соответствии с требованиями ГОСТ 965–89.

Светлый оттенок у белого цемента получают благодаря использованию сырьевых материалов с минимальным, очень ограниченным содержанием окрашивающих компонентов: железистых соединений, оксидов марганца, титана, хрома и др.

В карбонатных породах содержание оксида железа не более 0,15–0,25 %, содержание оксида марганца не более 0,015–0,03 %.

В глинистом сырье содержание оксида железа не должно превышать 1,0–1,5 %, а оксида титана не более 1,0 %.

При использовании кремнеземистого компонента в качестве корректирующей добавки содержание оксида железа не должно превышать 0,3 %.

Для природного гипса белизна должна превышать 75 %.

Кроме того, в белый цемент можно вводить активные минеральные добавки белого цвета для улучшения некоторых свойств. Суммарное содержание добавок в белом цементе допускается до 20 % массы цемента.

Содержание в белом цементном продукте обжига оксида магния ( $MgO$ ) не должно быть более 0,2 %, оксида железа ( $Fe_2O_3$ ) – более 0,03 %, нерастворимого остатка – более 0,06 % по массе. Содержание ангидрида серной кислоты ( $SO_3$ ) в белых портландцементов должно быть не более 3,5 % по массе.

В белом цементе чрезвычайно низкое содержание щелочи ( $Na_2O$ ) и содержание хроматов 2 мг/кг, а также он обладает высокой сульфатостойкостью (низким содержанием  $C_3A$ ).

По вещественному составу белые портландцементы подразделяют на виды:

- портландцемент белый (без минеральных добавок и добавок-наполнителей);
- портландцемент белый с добавками (с активными минеральными добавками и добавками-наполнителями не более 20%).

Белые цементы в зависимости от степени белизны<sup>1</sup> подразделяют на три сорта – I, II, III. Эталон белизны служит молочное матовое стекло типа МС–20 с коэффициентом отражения не менее 95 %, степень белизны портландцементов по сортам должна быть не менее, %: I – 80, II – 75, III – 70.

Примеры условного обозначения:

- белый портландцемент без добавок 1-го сорта, марки 500: портландцемент белый 1–500–Д0;
- белый портландцемент с добавками, 2-го сорта, марки 400: портландцемент белый 2–400–Д20.

Тонкость помола белых портландцементов должна быть такой, чтобы остаток на сите с размером ячейки 0,008 мм был не более 12% массы просеи-

---

<sup>1</sup> Белизна – это свойство белых портландцементов, характеризуемое коэффициентом отражения света поверхностью образца.

ваемой пробы или чтобы удельная поверхность была не менее 250 м<sup>2</sup>/кг.

Начало схватывания белых портландцементов должно наступать не ранее 45 мин, а конец – не позднее 10 ч от начала затворения.

Предел прочности белых цементов при сжатии в возрасте 28 сут должен быть не менее: 39,2 МПа – для гарантированной марки 400; 49,0 МПа – для гарантированной марки 500.

### ***Цветной портландцемент***

*Цветной портландцемент* – это гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного тонкого измельчения продукта обжига, активной минеральной добавки белого цвета, гипса и пигмента или красковой руды. Пигменты, применяемые для получения цветного портландцемента, идентичны применяемым в сграффито п. 5.2.

По составу в соответствии с ГОСТ 15825–80 цветной цемент должен содержать не менее 80 % продукта обжига, не более 6 % активной минеральной добавки белого цвета, 5 % гипса и до 15 % минерального синтетического или природного пигмента, пигментного сырья или красковой руды. Органический пигмент вводят не более 0,5 % от массы продукта обжига. О пигментах подробно описано в п. 5.2. В цветной цемент можно также вводить пластифицирующие или гидрофобизирующие добавки в количестве не более 0,3 % (в пересчете на сухое вещество) от массы цемента.

По цвету портландцемент выпускают красным, желтым, зеленым, голубым, розовым, коричневым, черным и др.

По механической прочности цветной портландцемент подразделяют на марки: 300, 400 и 500.

Строительно-технические свойства цветных цементов такие же, как у белого. Кроме того, они обладают свето- и атмосферостойкостью.

Существенным недостатком при твердении цветных цементов является образование выцветов за счет выделения Са(ОН)<sub>2</sub> и его превращения в СаСО<sub>3</sub>, так называемый процесс высолообразования, однако разработаны эффективные способы уменьшения или предотвращения этих явлений.

В настоящее время белый и цветные портландцементы используют как при строительстве зданий и сооружений, так и выполняют декоративно-художественную роль в архитектурной отделке наружных поверхностей зданий и сооружений, интерьеров жилых и других сооружений, а также при реализации индивидуальных проектов ландшафтного дизайна. Кроме того, они

являются эффективными материалами для изготовления различных строительных деталей: бетонных панелей, балконов, карнизов, декоративных украшений, тротуарных плит и камней для мощения, скульптур, мозаичных полов, для облицовки бассейнов и в легком растворе для расшивки швов, а также в дорожном строительстве – дорожная разметка, бордюрные камни, облицовка туннелей. Данные цементы входят в состав сухих клеевых смесей, цветного бетона, затирки, шпатлевки и т.д.

### **6.6. Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое портландцемент?
2. Назовите сырьевые материалы для производства портландцемента.
3. Зачем вводят природный гипс в состав портландцемента?
4. Как можно классифицировать цементы?
5. Как подразделяются цементы по вещественному составу?
6. Назовите главные оксиды портландцемента и какова их роль?
7. Какие основные минералы входят в состав цемента?
8. Объясните влияние основных минералов на свойства цемента.
9. Какие основные стадии твердения портландцемента вы знаете?
10. Назовите основные стадии процесса гидратации портландцемента.
11. Какие теории твердения портландцемента вы знаете?
12. Что происходит с цементным тестом в период его твердения?
13. Назовите основные этапы твердения портландцемента в соответствии с современными представлениями.
14. Какие строительно-технические свойства портландцемента вы можете перечислить?
15. Как влияет тонкость помола цемента на его свойства?
16. Что такое нормальная густота цементного теста?
17. От чего зависит водопотребность цементного теста?
18. Что такое схватывание цементного теста и как его регулируют?
19. В зависимости от каких факторов меняется активность цемента?
20. Назовите причины неравномерного расширения объема при твердении цемента.
21. Какие декоративные портландцементы вы знаете?
22. Назовите требования к белому портландцементу и его свойства.
23. В чем особенности цветного портландцемента?

## 7. ДЕКОРАТИВНАЯ ШТУКАТУРКА

В настоящее время существует огромный ассортимент отделочных материалов для различных поверхностей с получением неповторимого дизайна любого помещения или здания. Наиболее популярной и достойной альтернативой традиционного покрытия стен (обои, покраска, плитка) по праву является декоративная штукатурка, которая позволяет решать любые сложные задачи дизайнера благодаря возможности создания интересных и эксклюзивных эффектов (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Студенческие работы по декоративной штукатурке

Понятие «декоративная штукатурка» можно представить двумя определениями как продукта и как покрытия.

**Декоративная штукатурка** представляет собой пластичный материал подобранного состава, выравнивающий и придающий различную форму и фактуру толщиной от 1 до 10 мм на поверхности для повышения эстетической выразительности экстерьера и интерьера.

**Декоративная штукатурка** (итал. *stuccatura* – лепнина, закрепление грунтов) – это метод художественного оформления различных поверхностей внешних или внутренних частей зданий и сооружений, который заключается в нанесении двух или более декоративных слоев определенного состава.

Благодаря штукатурке появилась возможность получать, выполнять художественные покрытия и соединять декоративные эффекты с естественными природными элементами (камень, дерево, песок и т.д.). Кроме того, она обладает повышенными характеристиками по долговечности и стойкости к механическим воздействиям, паропроницаемости, экологической безопасно-

сти, которые соседствуют с красотой, изысканностью и выразительностью использования элементов на основе декоративной штукатурки.

### 7.1. Основные сведения о декоративной штукатурке

По степени технологичности, выразительности и простоты декоративная штукатурка является удобным и универсальным отделочным материалом. При этом выполнение такого декоративного покрытия всегда сопровождается нанесением базовых слоев (рис. 7.2), в которые входят два подготовительных отдельно наносимых слоя и поверх них накрывочный или декоративный:

- первый слой называется обрызг (набрызг, опрыск) (*trullisatio, rinciffato* итал.), выполняющий роль связующего звена между подготавливаемой поверхностью и другими слоями штукатурки;

- второй слой – грунт (*argicció* итал.), являющийся основным по объему слоем штукатурного раствора (намета);

- третий слой – накрывка (*intonaco* итал.) служит для придания поверхности штукатурки заданных художественных качеств: равномерности покрытия, фактуры и др.

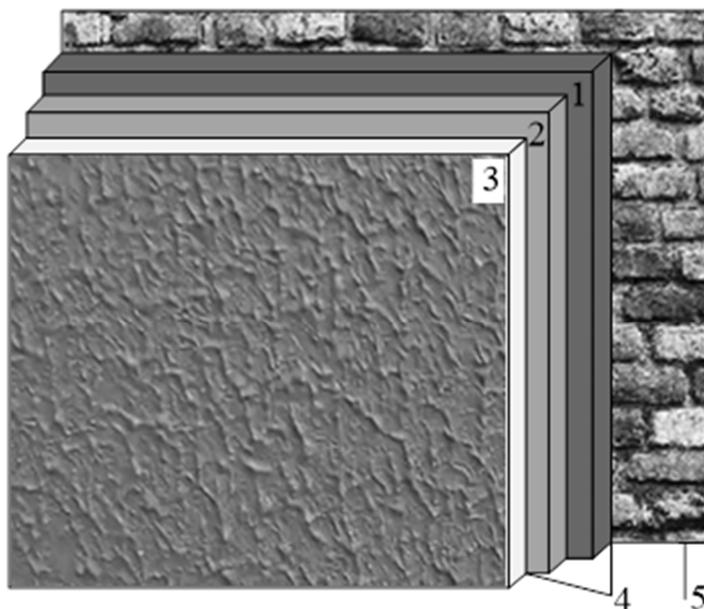


Рис. 7.2. Расположение подготовительных и декоративных слоев: 1 – обрызг (набрызг, опрыск); 2 – грунт; 3 – накрывка; 4 – грунтовка; 5 – стена

Каждый базовый слой имеет свои особенности и строго определенное назначение. Так, *обрызг* необходимо наносить на хорошо смоченную водой или грунтовкой 4 поверхность, как и все последующие за ним слои. Он дол-

жен сплошь покрывать оштукатуриваемую плоскость, иметь с ней сцепление и заполнять все неровности. Толщина первого штукатурного слоя по деревянным поверхностям принимается не более 9 мм, а по каменным, бетонным, кирпичным или другим поверхностям от 3 до 5 мм. Правильно приготовленный и нанесенный раствор обрызга (набрызга, опрыска) позволяет крепче сцепится с поверхностью и прочнее будет держать последующие за ним слои.

*Второй штукатурный слой* наносят на схватившийся первый. При этом консистенцию раствора для грунта готовят более густой, чем для обрызга, а также обеспечивают постоянство состава грунтового слоя, что предотвращает образование пятен на поверхности, так как при нанесении декоративного слоя происходит отсасывание его жидкой фазы в поры – воды, вяжущего вещества и пигмента.

В зависимости от качества поверхностей, вида вяжущих, входящих в состав декоративной штукатурки, и ее толщины грунт наносят в один или несколько слоев, толщина которых зависит от применяемого раствора и не должна превышать 7 мм при использовании известковых и известково-гипсовых и 5 мм для цементных. Последний грунтовой слой выравнивают особенно тщательно, и он должен иметь одинаковую толщину по всей поверхности нанесения, а также его еще не окрепшую поверхность процарапывают гребенками для лучшего сцепления накрывки с грунтом. Бороздки должны быть глубиной 3–5 мм и находиться друг от друга на расстоянии 2–3 см. Грунтовой слой необходимо увлажнять для предотвращения пересыхания и появления усадочных трещин на поверхности.

*Накрывку (накрывочный или декоративный слой)* наносят на схватившийся грунт толщиной в 1–2 мм. Крупность зерен заполнителя для накрывки не должна превышать 1,2 мм.

Толщина декоративного слоя должна составлять для раствора:

- с мелкозернистым наполнителем при слабом рельефе штукатурки – 8–10 мм;
- со среднезернистым наполнителем – 10–12 мм;
- с крупнозернистым наполнителем – 12–15 мм.

Если накрывочный слой будет тонким, то подготовительный слой во избежание просвечивания делают цветным, применяя пигменты как для декоративного раствора.

Кроме того, все приготовленные штукатурные растворы должны обладать удобоукладываемостью (это состояние раствора, при котором он растилается под воздействием инструмента тонким слоем, заполняя все неровности и хорошо примыкая к основанию), которая характеризуется подвижностью (это способность раствора растекаться под действием силы тяжести). Она определяется величиной осадки стандартного конуса (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Показатели осадки конуса для подготовительных слоев

Слой	Осадка конуса в зависимости от типа нанесения раствора, см	
	механизированное	ручное
Обрызг	9–14	8–12
Грунт	7–8	7–8
Накрывка	9–12	8–10

Основание из базовых слоев должно быть прочным, одинаково пористым и обеспечивало прочное сцепление с наносимой декоративной накрывкой. Покрытия после затвердения декоративных растворов должны иметь следующие показатели:

- марку по прочности – не ниже 50;
- марку по морозостойкости (для фасадов) – не ниже 35 циклов;
- водопоглощение растворов – низкое;
- с заполнителями из песка и дробленых горных пород с пределом прочности при сжатии более 40 МПа – не более 8 %;
- с заполнителями из пород с пределом прочности ниже 40 МПа – не более 12 %.

## 7.2. Классификация декоративных штукатурок

Декоративные штукатурки можно разделить на несколько групп по некоторым признакам (рис. 7.3):

- 1) по климатической стойкости и области применения;
- 2) виду связующего или вяжущего материала;
- 3) составу;
- 4) виду заполнителя;

- 5) виду затворителя;
- 6) внешнему виду покрытия;
- 7) структуре формируемой поверхности.

Все перечисленные группы декоративных штукатурок имеют свои разновидности, которые обладают отличительными особенностями и признаками. Такое широкое разнообразие типов декоративных покрытий позволяет составлять уникальные и индивидуальные покрытия. Рассмотрим их более подробно.

По *климатической стойкости и области применения* декоративную штукатурку различают:

- для наружной отделки (фасадные смеси) зданий и сооружений;
- для внутренней отделки;
- универсальные смеси (они подходят для отделки жилых и нежилых помещений снаружи и внутри).

По *виду связующего или вяжущего материала* декоративные штукатурки (рис. 7.4) различают:

- *минеральные* – это сухая смесь, созданная на основе вяжущего вещества, которая разводится водой, применяется для наружной отделки и отличается простотой нанесения и способностью дополнительного утепления фасада здания. Для придания водоотталкивающих свойств в состав смеси вводятся полимерные добавки. Однако срок службы такого материала невысок – 9–10 лет;
- *акриловые* – это смеси на основе акриловых смол с высокой эластичностью материала. Срок службы такого покрытия – 15–20 лет;
- *силикатные* – это смеси на основе жидкого калиевого стекла, выступающего в качестве вяжущего вещества, сроком службы около 20 лет;
- *силиконовые* – это смеси на основе водной дисперсии силиконовой смолы (силикона), которую готовят с использованием нефти, кремния и поваренной соли. Благодаря своему составу, они обладают всеми преимуществами минеральных и полимерных штукатурок. Срок службы силиконовой смеси может достигать 25 лет, при этом материал не впитывает и не накапливает вредных веществ.



Рис. 7.3. Классификация декоративных штукатурок

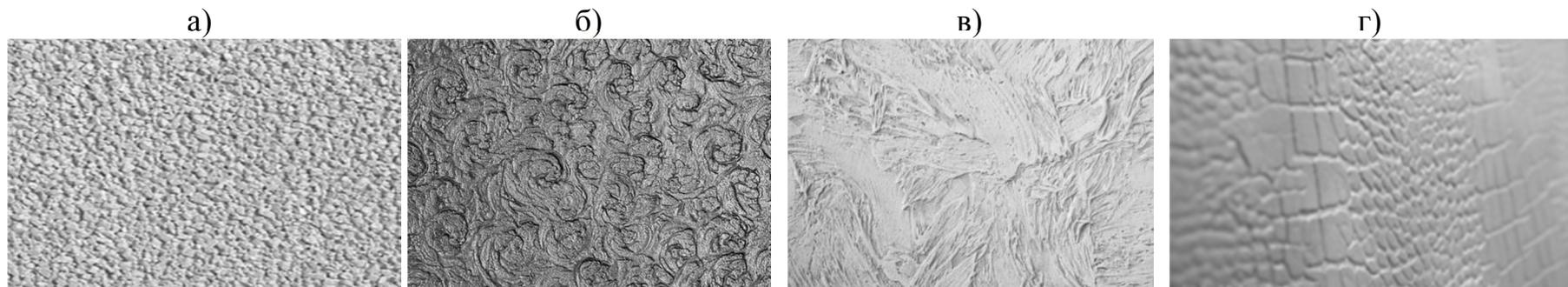


Рис. 7.4. Виды декоративной штукатурки по виду связующего или вяжущего материала: а – минеральная; б – акриловая; в – силикатная; г – силиконовая

В зависимости от состава декоративной штукатурки меняется и ее устойчивость по отношению к различным воздействиям, которые наглядно изображены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Устойчивость декоративной штукатурки к различным воздействиям

Виды	Механическое воздействие	Атмосферные осадки	Солнечное излучение	Низкая температура	Устойчивость к загрязнениям
Минеральная					
Акриловая					
Силикатная					
Силиконовая					

Примечание.  – высокая сопротивляемость;  – умеренная сопротивляемость;  – низкая сопротивляемость.

Рассмотренные составы также имеют достаточную степень паропроницаемости (способность пропускать влагу и воздух в обоих направлениях). Наименьшим показателем обладают акриловые штукатурки, средним – силиконовые, а самые высокие – у минеральных и силикатных смесей.

Декоративные штукатурки *по составу* (рис. 7.5) делятся на несколько видов:

- *цветные известково-песчаные* представляют собой известковый раствор для накрывки без добавления или с добавлением цветных цементов до 10 %, кварцевого песка или песка из цветных каменных пород и пигментов, иногда каменной муки или пудры. Поверхность таких штукатурок может быть гладкозатертой и фактурной, однако она восприимчива к влаге. Заполнителями в них служат кварцевый или мраморный песок с размерами зерен 0,3–0,5 мм для гладкой фактуры; возможны высевки горных пород – применяют значительно реже. При выполнении фактуры набрызгом в составе должно быть 50 % зерен песка размерами 0,6–2 мм;

- *терразитовые* – это цветные штукатурные смеси на основе извести-пушонки или гидратной извести (гашеной в тонкий порошок) без добавки или с добавкой до 35 % портландцемента с мраморной крошкой, слюдой, мраморным и кварцевым песком или на полимерных составах, создающие объемную фактуру. Заполнители в зависимости от требуемой фактуры могут быть с крупностью от 1 до 6 мм. Терразитовые растворы быстро схватывают-

ся, а при излишках воды готовая отштукатуренная поверхность может поменять цвет;

- *каменные* – это оригинальные на вид прочные стеновые покрытия на основе белого или цветного портландцемента без и с добавкой не более 5 % известкового теста для пластичности, мраморной крошки или других каменных пород с неровной структурой поверхности или на полимерных составах, создающее впечатление природного камня: мрамора, гранита, лабрадорита, туфа и др. Заполнителем к этим материалам обычно идут мраморная, гранитная или кварцевая крошка, а также их смеси.

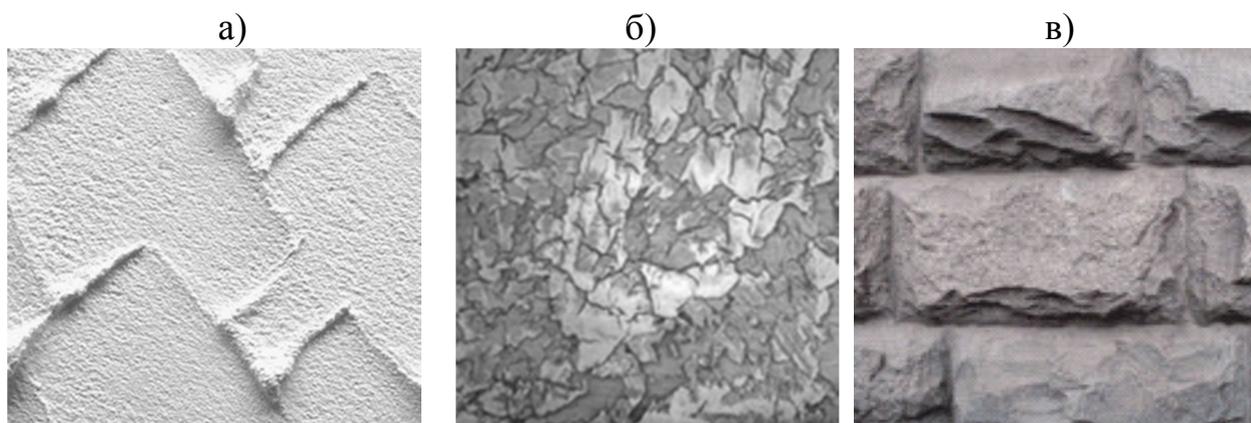


Рис. 7.5. Виды декоративной штукатурки по составу: а – цветная известково-песчаная; б – терразитовая; в – каменная

Декоративные растворы каменной штукатурки являются самыми жесткими и неудобными для нанесения, но самыми прочными.

В зависимости от *используемого заполнителя*, создающего необходимый рельеф поверхности, декоративные штукатурки могут быть с кварцевой, гранитной или мраморной крошками и смесями на их основе, а также любые другие частицы.

Декоративные штукатурки с крупными гранулами предпочтительней использовать для наружной отделки, а с мелкой фракцией – для внутренней.

По *виду затворителя* декоративные штукатурки подразделяют на *водной и неводной основе*.

Декоративные штукатурки по *внешнему виду покрытия* (рис. 7.6) различают:

- *структурная* («создающая борозды») – это готовая к применению неоднородная зернистая смесь, содержащая структурные гранулы (мелкие камушки, древесное волокно, кусочки кварца, слюды и т.п.). Зерна могут

быть разного размера от 0,7 до 3 мм. Структурные штукатурки можно наносить на любые типы поверхностей, маскируя их изъяны, и создавать рельефные орнаменты. Они стойки к механическим воздействиям, водонепроницаемые, выдерживают температуры от  $-50$  до  $75$  °С, а также за счет своей микропористой структуры позволяют стене «дышать»;

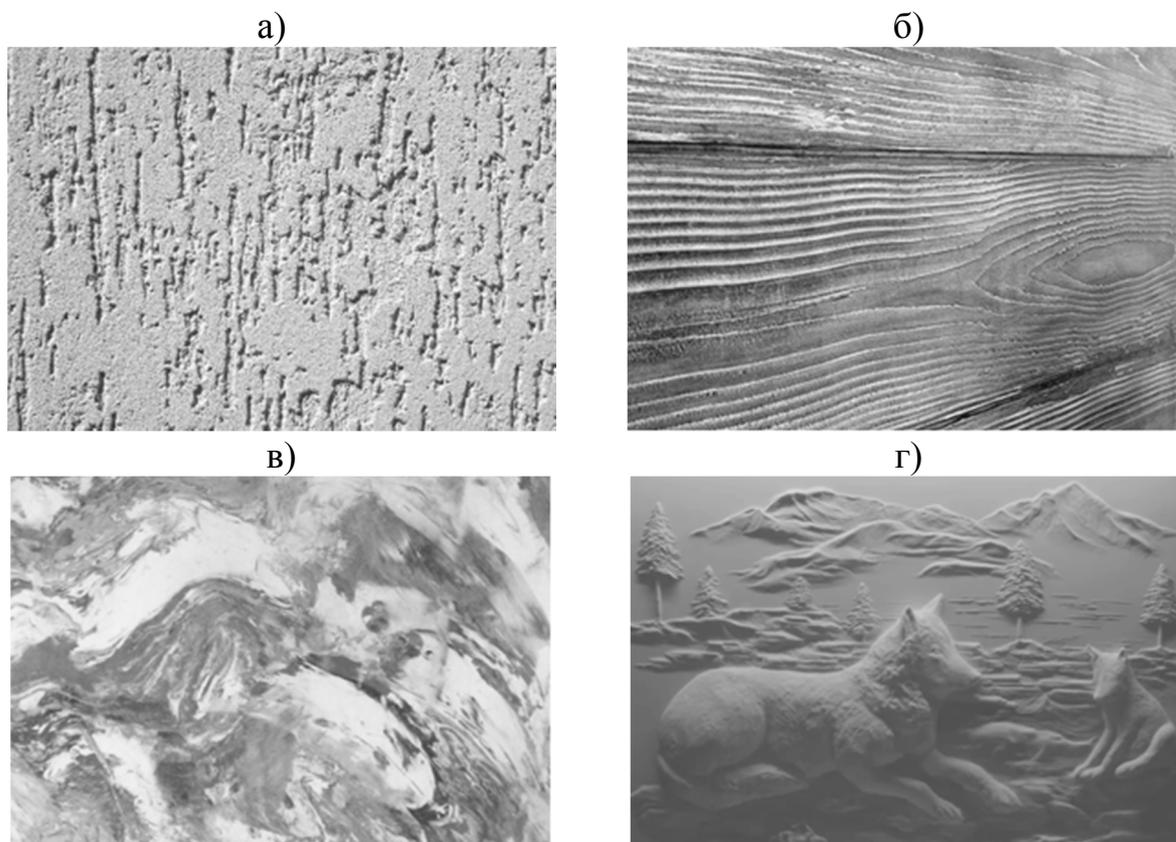


Рис. 7.6. Разновидности декоративной штукатурки по внешнему виду покрытия: а – структурная; б – фактурная; в – венецианская; г – объемная

- *фактурная* представляет собой пластичную неоднородную зернистую массу, состоящую из включений различных волокон, каменных крошек, мелкозернистого песка и др., за счет которых и достигается разнообразие рельефов и эффектов;
- *венецианская* – это прозрачная штукатурка для имитации природного камня, основным компонентом которой является известковая и мраморная крошка, а также в состав входит гашеная известь и водная эмульсия. Базовое основание под нее должно быть ровным и без изъянов. Глубина и прозрачность штукатурки достигается специальной техникой нанесения слоев (от 4 до 10 слоев), после высыхания которых поверхность покрывают воском. Такое покрытие является экологичным, износостойким, пожаробезопасным, долговечным, быстро сохнущим и с богатой палитрой исполнения;

- *объемная (3D)* представляет собой готовую высокопластичную смесь, позволяющую создавать высокохудожественную лепнину, барельефы и горельефы на отделочной поверхности. Художественное покрытие, получаемое при использовании данного вида штукатурки, не растрескивается и имеет малый объемный вес, что позволяет с ней работать при создании лепнины на карнизах и потолках. Кроме того, она стойка к усадкам, позволяя отображать чистые рисунки, не искажающиеся со временем.

По *структуре формируемой поверхности* можно выделить следующие основные типы декоративных штукатурок (рис. 7.7):

- однородно-шероховатые (Edel-структура, «барашек», «руно», «гусиная кожа»);
- бороздчато-шероховатые (Rillen-структура, «кора», «короед», «мюнхенская»);
- моделирующие (Roll-структура, создание произвольного рисунка).

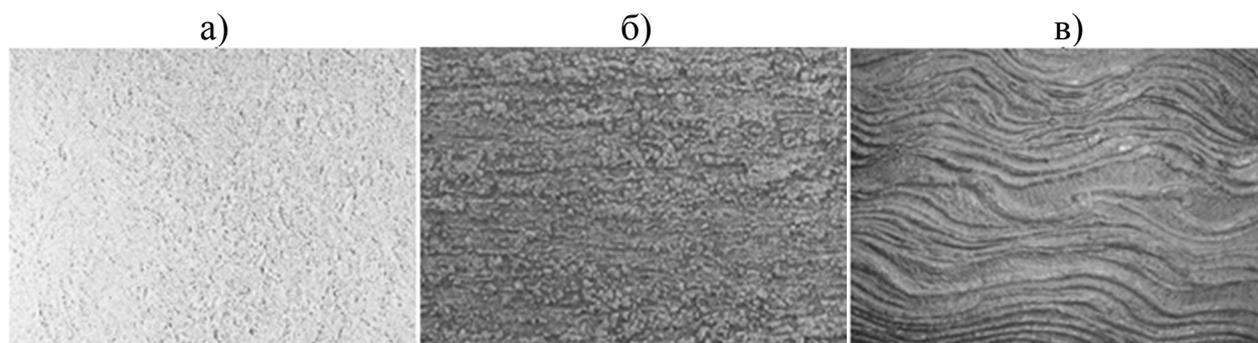


Рис. 7.7. Разновидности декоративной штукатурки по структуре формируемой поверхности: а – Edel-структура; б – Rillen-структура; в – Roll-структура

Однородно-шероховатую структуру получают равномерным нанесением, напылением или разравниванием декоративной штукатурки, при этом получаемая шероховатость определяется фракцией гранул. В зависимости от используемого заполнителя покрытие получается однотонным или многоцветным. Совершенно гладкая поверхность возможна, когда в составе декоративной штукатурки находятся гранулы с крайне малыми размерами и шероховатость будет незаметна.

Бороздчато-шероховатую фактуру создают за счет дозированной примеси крупных гранул в мелкофракционной штукатурке. При разравнивании смеси шпателем или гладилкой крупные включения оставляют неравномерные следы своего движения (борозды) на однородном слое мелких гранул.

При этом форма борозд определяется размерами и конфигурацией гранул смеси.

При моделировании (Roll-структура) тонкий слой нанесенной на поверхность штукатурки расчерчивается или отпечатывается инструментами – рельефным валиком, зубчатым шпателем, щетками или кистью. Благодаря используемому орудю и движениям, которыми создается рисунок, получают рельеф характерным и неповторимым.

### **7.3. Базовые составляющие декоративных штукатурок**

Декоративная штукатурка обладает уникальным составом с декоративными и защитными свойствами, а также удобным в работе и скрывающим микродефекты поверхности (микротрещины, сколы выбоины и т.д.). Однако все виды имеют следующие базовые составляющие:

- 1) связующий или вяжущий материал – основа, позволяющая закреплять материал на стене;
- 2) наполнитель – элемент, формирующий декоративный эффект: молотый мрамор, песок, целлюлозное волокно, флоки («вариосистемы»);
- 3) затворитель – вещество, приводящее сухую смесь в однородную суспензию;
- 4) пигменты – окрашивающие составы, придающие декоративным штукатуркам тот или иной цвет;
- 5) вспомогательные добавки – придают продукту дополнительные свойства.

В зависимости от вида декоративной штукатурки могут быть использованы различные *связующие или вяжущие материалы*, такие как строительная известь, в виде теста и гидратной извести (тонкого порошка); гипсовые вяжущие; обычный (более светлых тонов), белый трех сортов по степени белизны, цветной портландцементы (желтого, розового, красного, коричневого, зеленого, голубого, черного цветов) и шлакопортландцемент; известьсодержащие гидравлические вещества; жидкое калиевое стекло; а также синтетические материалы – эпоксидные, акриловые и силиконовые (силикона) смолы, полиуретан и так далее.

В шлакопортландцементях содержание сернистых соединений не должно превышать 2 %, так как это может привести к образованию на поверхности штукатурки высолов и обесцвечиванию пигментов.

*Заполнители* для растворов декоративной штукатурки делят:

- на крупный – каменная крошка (известковая, мраморная, гранитная и смесями на их основе) различных горных пород, гравий и щебень, частицы цветного и обычного стекла, фарфора, антрацита, слюда, древесное, целлюлозное, шелковое или текстильное волокно и т.п. Размер зерен составляет от 2,5 до 6 мм, реже 7–10 мм, с преобладанием зерен от 2,5 до 5 мм. Плотность полученной смеси не должна превышать показатель в 1700 кг/м<sup>3</sup>;
- средний – кварцевый или мраморный песок, каменная крошка с размером частиц от 1,5 до 2,5 мм, с преобладанием зерен от 0,6 до 1,2 мм;
- мелкий – кварцевый или мраморный песок с размером частиц от 0,5 до 1,0 мм, с преобладанием зерен от 0,3 до 0,6 мм;
- тонкий – каменная мука или пудра – мраморная, малахитовая, кварцевая с размером зерен менее 0,5 мм.

Преобладающая крупность зерен должна быть в количестве 35–45 % от всей смеси заполнителя. Его гранулы имеют не произвольную, а сферическую форму – они предварительно окатываются, а затем калибруются.

Каменные крошки разных цветов получают дроблением мрамора, гранита, известняка. Отличительными особенностями кварцевой крошки являются гладкая поверхность, высокая стойкость к истиранию и царапинам. С мраморной крошкой получают шероховатую поверхность с невысокой стойкостью к истиранию и царапинам. Покрытия с гранитной крошкой имеют также шероховатую поверхность и хорошую стойкость к истиранию и царапинам.

При обработке штукатурок ударными инструментами или оттиранием абразивами (брусками или кругами) применяют в основном мраморную крошку, которая в результате этого приобретает блеск и в 2,5–3 раза легче обрабатывается, чем гранитная. В штукатурках, обрабатываемых циклеванием или травлением кислотой, используют крошку любых пород.

Гравий и щебень из разных каменных пород используют для создания сборной фактуры.

Слюду, цветное и обычное стекло, фарфор крупностью от 1 до 3 мм добавляют в небольшом количестве не более 10 % в растворы с заполнителем, не дающим кристаллического блеска

Антрацит используют для создания насыщенного черного цвета и выраженного металлического блеска.

Общая доля твердых компонентов в смеси должна составлять 20, 30, 40 и 50 % относительно массы вяжущего вещества в зависимости от марки.

В качестве *затворителя* в основном используется вода, для синтетических декоративных штукатурок применяют неводный органический растворитель (полимерные соединения).

Для окрашивания смесей или растворов в различные цвета используют *пигменты* (сухие краски) в количестве не более 15 % от массы вяжущего. Применение их в большом количестве снижает прочность цемента, а также многие пигменты могут изменять свой цвет от действия щелочей, света и других факторов. О пигментах подробно описано в п. 5.2.

Для получения цветных штукатурок в основном используют цветные крошки и цементы, а также окрашивающие пасты, которые представляют собой суспензию на основе сухого пигмента, затворенного водой, многократно перемешанную и процеженную через частое сито, а также выдержанную в течение 2–3 сут.

Для осветления и окрашивания декоративных растворов, а также повышения их пластичности применяют тонкомолотые муку или пудру из белых и цветных каменных пород. Муку нужно просеивать через сита с ячейками 0,15 мм. Она должна содержать не менее 65 % частиц, проходящих через сито с 4900 отв/см<sup>2</sup>.

Как правило, в качестве *вспомогательных добавок* используют пластифицирующие и гидрофобные, повышающие устойчивость отделки к действию влаги, а также могут применять загустители, антисептики и биоцидные вещества.

Для приготовления декоративной смеси базовые составляющие необходимо смешать в следующей последовательности: сначала вяжущий материал (например, цемент) с пигментами, затем крупный, мелкий или тонкий наполнитель (например, песок, слюду или каменную муку). Далее слоями насыпают средний наполнитель (например, каменная крошка), чередуя его со смесью на основе вяжущего, пигмента и добавок. Такой порядок способствует быстрому и более однородному перемешиванию. В последнюю очередь добавляют воду. При этом каждую порцию перемешивают в течение 5–10 мин до полной однородности.

#### 7.4. Подготовка поверхности для нанесения декоративных слоев

Все виды декоративной штукатурки можно наносить на любые строительные основания: монолитный железобетон; ремонтные и финишные штукатурки; ранее окрашенные поверхности; древесно-стружечные (ДСП), древесно-волокнистые (ДВП), цементно-стружечные (ЦСП) плиты; фанеру; гипсокартон и т.д. Однако долговечность и прочность декоративной штукатурки напрямую зависят от качества подготовки поверхности. Если поверхность под декоративную штукатурку будет недоброкачественно подготовлена, то возможно накрывочный слой отстанет от грунта и проявятся многие внешние дефекты покрытия. В связи с этим необходимо тщательно очищать основание от остатков прошлого покрытия (краски, обоев и т.д.) и удалять отслоившиеся участки, а заметные дефекты (трещины, выпуклости, неровности) заделывать шпатлевкой и затем просушить всю поверхность.

Вся обрабатываемая поверхность должна быть прочной, без присутствия загрязнений, жиров, масел или других компонентов, снижающих адгезию (это поверхностное явление, приводящее к прочному сцеплению (связыванию) поверхностных слоев двух разнородных материалов) между слоями.

До нанесения подготовительных слоев поверхность пропитывают водой (за 1–3 ч) или грунтовкой (за 20–40 мин) на некоторую ее толщину (рис. 7.8, а) во избежание быстрого отсоса из раствора влаги, необходимой для нормального твердения раствора. Кроме того, это способствует достижению и увеличению адгезии между основанием и обрызгом, а также правильному структурированию декоративной штукатурки. Обработка грунтовкой предпочтительна, поскольку она еще проникает в микротрещины, укрепляя поверхность, и защищает ее от разбухания, сырости и появления плесени.

На обработанное грунтовкой основание наносят обрызг (рис. 7.8, б), а на него слой раствора грунта (рис. 7.8, в), который выравнивают и нацарапывают клеточками с помощью резца (рис. 7.8, г). После затвердевания грунтового слоя поверхность покрывают грунтовкой (рис. 7.8, д).

Толщина подготовительных слоев под любой вид декоративной штукатурки должна быть 15–20 мм для предотвращения образования высолов, нарушающих однородность накрывки. Кроме того, все слои обрызга и грунта хорошо уплотняют, чтобы избежать раковин, которые могут продавливаться при обработке накрывки.

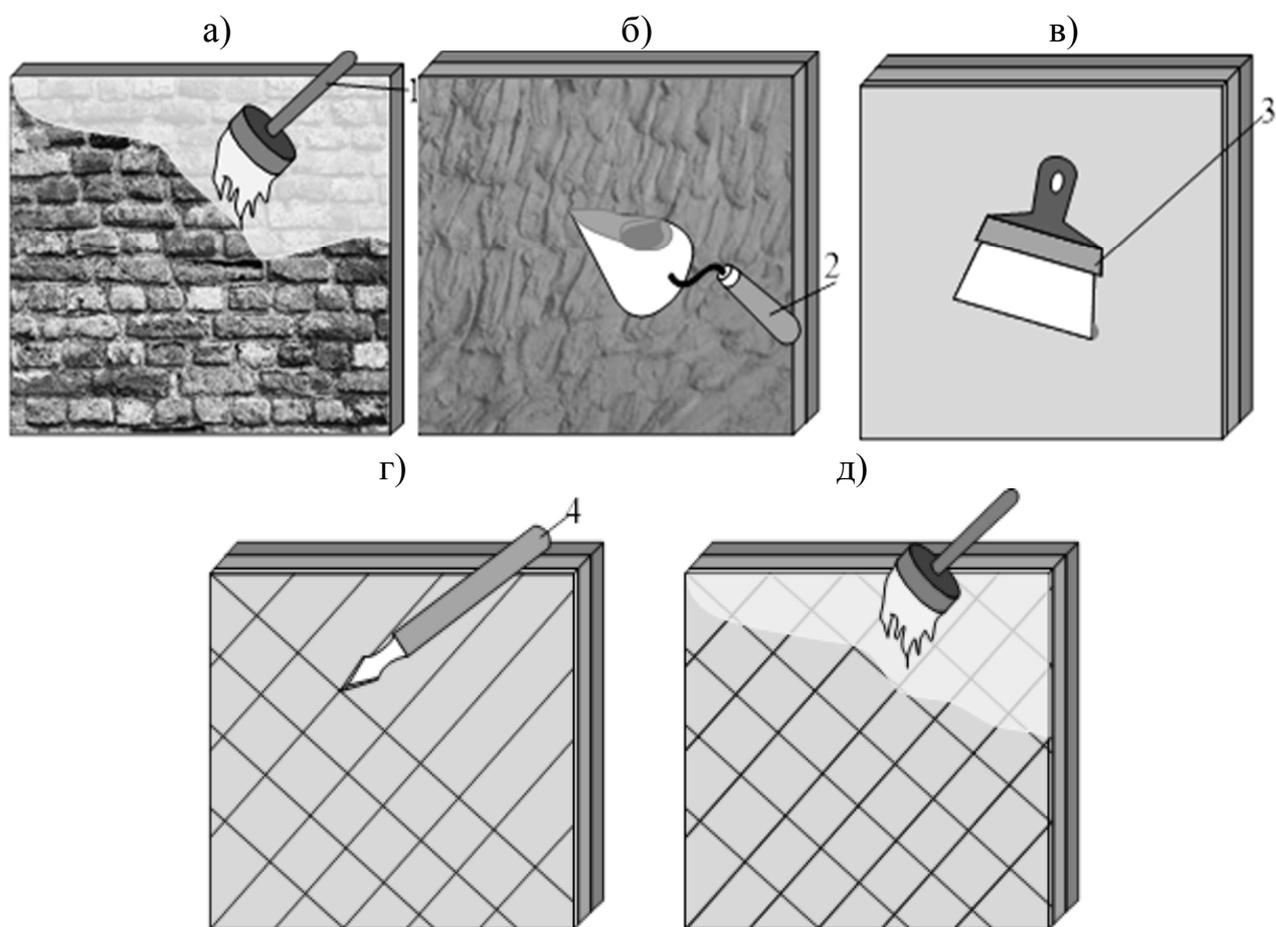


Рис. 7.8. Подготовка поверхности и нанесение подготовительных слоев: а – нанесение грунтовки; б – нанесение обрызга; в – нанесение грунтового слоя; г – нанесение насечек на грунте; д – обработка грунтовкой; 1 – кисть; 2 – кельма (мастерок); 3 – шпатель; 4 – резец

Для каждого вида декоративной штукатурки применяют свой раствор для подготовительных слоев, т.е. состав обрызга и грунта подбирают к составу накрывки, так как несоответствие по прочности и плотности подготовительных слоев с накрывочными приводит к их расслаиванию. Если подготовительные слои окажутся более плотными, с наименьшим количеством пор, то накрывка может иметь с ними слабое сцепление и будет отслаиваться. Если накрывочный слой будет прочнее подготовительных, то при обработке они могут отслоиться от поверхности.

### 7.5. Технологии нанесения декоративной штукатурки

Декоративность штукатурки заключается в создании выбранного рисунка на оштукатуриваемой поверхности. Именно используя ту или иную технологию нанесения декоративного покрытия и различные инструменты, можно воплотить любой задуманный дизайн.

В зависимости от разновидностей декоративной штукатурки существуют различные способы выполнения декоративной накрывки. Однако более подробно рассмотрим техники для терразитовой и каменной штукатурки, а также структурного, фактурного, венецианского и объемного вида покрытия в связи с тем, что технологии нанесения данных накрывок имеют свои характерные особенности и тонкости в работе с этими материалами. Для остальных групп декоративной штукатурки можно использовать любой вариант из ниже рассмотренных техник или их комбинаций.

### **7.5.1. Выполнение терразитового покрытия**

Изготовление терразитового покрытия осуществляют в основном циклеванием или циклевкой – это технология выравнивания основания методом соскабливания тонкого слоя декоративной штукатурки с помощью цикли (рис. 7.9), которая представляет собой стальную или стеклянную пластину с заточкой около  $90^\circ$  (практически срез или скол) и заусенцем по рабочей поверхности.

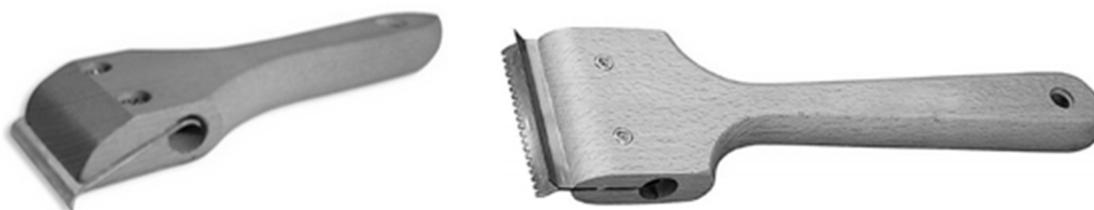


Рис. 7.9. Цикли

После нанесения на поверхность и разравнивания грунт нарезают или нацарапывают в горизонтальном направлении волнистыми бороздками глубиной не менее 3 мм с расстоянием между ними 30–40 мм, при этом наносимый накрывочный раствор удерживается на них как бы гребенкой и не сползает.

Декоративный раствор наносят после отвердения и просыхания подготовительного слоя до ровного просветления по всей поверхности (рис. 7.10, а). Обязательно накрывку равномерно разравнивают и уплотняют, одновременно устраняя усадочные трещины затиркой.

Толщина декоративной накрывки должна быть при применении мелкозернистой смеси не более 8–10, среднезернистой – 10–12 и крупнозернистой – 12–15 мм. При необходимости создания сильно рельефной фактуры с толщиной до 20 мм состав приходится наносить за 3–4 приема, соблюдая период

схватывания нанесенного раствора, чтобы избежать его сползания при нанесении последующего слоя.

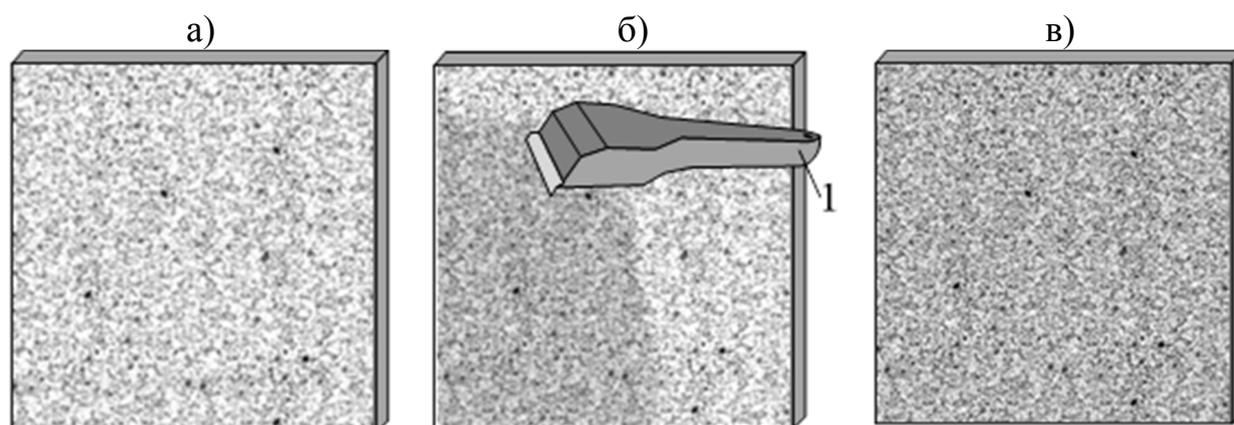


Рис. 7.10. Циклевание терразитовой штукатурки: а – накрывка; б – циклевание; в – готовая штукатурка; 1 – цикля

Через 0,5–1 ч после схватывания раствора основание начинают циклевать (рис. 7.10, б), при этом лезвие цикли необходимо плавно перемещать в одном направлении и под углом 45–60 °. В процессе циклевания с нанесенной штукатурки снимается тонкая пленка (около 1 мм) накрывочного слоя, обнажая зерна заполнителя, поверхность становится зернистой и приобретает заданную фактуру природного камня (рис. 7.10, в). После обработки покрытие обметают и смачивают водой до 5 дней.

При выполнении терразитовой штукатурки набрызгом (без циклевки) верхний грунтовой слой делают окрашенным под цвет наносимого терразита, что способствует уменьшению толщины накрывки терразита без ущерба для качества отделки. Далее по свеженанесенному цветному грунту за один или два приема набрызгивают слой терразитового раствора не менее 5 мм, что обеспечивает его прочное сцепление благодаря вдавливанию в грунт отдельных частиц крупного заполнителя.

Терразит наносят ровными слоями без утолщений и бугров. После затвердевания накрывки поверхность ее разравнивают ребром полутерка или правила, убирая выступающие и слабодержащиеся куски, а также не сцепившиеся с грунтом отдельные зерна заполнителя.

При возникновении дефектов в накрывочном слое всю «брачную» поверхность снимают и переделывают целиком в связи с тем, что декоративную накрывку недопустимо исправить из-за образования неустраняемых пятен и отслоения исправлений (подмазок).

В зависимости от крупности заполнителя терразитовой штукатурки бывают: мелко-, средне-, равномерно-, крупнозернистые; а по виду фактуры существуют: бороздчатые, бугристые, равномерно-бугристые, рельефные пластичные, рельефные камнеподобные, профилированные рустованные и гладкие шлифованные поверхности.

Каждый вид терразитовой фактуры получают обработкой штукатурки различными инструментами. Так, мелко-, среднезернистые, бороздчатые и бугристые обрабатывают циклей с соответствующими размерами зубьями под фракцию используемого заполнителя. Равномерно- и крупнозернистую камневидную фактуры отделяют с помощью пескоструйного аппарата ударными инструментами по затвердевшему раствору. Равномерно-бугристую получают торцеванием накрывки гвоздевыми щетками. Рельефные пластичные и камнеподобные поверхности выполняют набрызгом с помощью растворонасоса и наковкой зубилом соответственно.

Покрытие профилированной рустованной штукатурки разбивают на камни, которые отделены друг от друга рустами (швы шириной до 12 мм) методом выпиливания, прорезания или продавливания (проштамповывания) затвердевшего раствора. Профилированные русты также вытягивают шаблоном по правилам с последующим разделением углов.

Гладкие шлифованные поверхности получают шлифованием абразивными инструментами по затвердевшей декоративной накрывке.

### ***7.5.2. Выполнение каменной штукатурки***

Камневидные штукатурки в отличие от терразитовых содержат более крупный заполнитель, поэтому с ними работать труднее и составы готовят более жидкими. Декоративный раствор наносят в несколько слоев в зависимости от толщины накрывки, которая может достигать 10–15 мм, и слегка уплотняют, при появлении трещин поверхность уплотняют дополнительно. Затем основание смачивают водой в течение 6–8 дней, а затем дают ему просохнуть 1–2 дня.

В каменной штукатурке цвет и фактуру камня создают окрашенная каменная крошка или кварцевые камни разной фракции. Цветной или окрашенный цемент в смеси выполняет лишь вспомогательную роль, дополняя цвет крошки.

Самым распространенным способом обработки затвердевшей поверхности является наковка ударными камнеобрабатывающими инструментами (рис. 7.11), например, зубилами, бучардой<sup>1</sup> (франц. boucharde), троянкой<sup>2</sup>. К работе приступают после набора прочности накрывочного слоя, которая позволит без разрушения покрытия скалывать каменную крошку, не вмяная ее в раствор. При этом поверхность штукатурки до начала обработки разделяют на отдельные камни, пробивая линии рядов камней или рустов и другие прямолинейные детали.

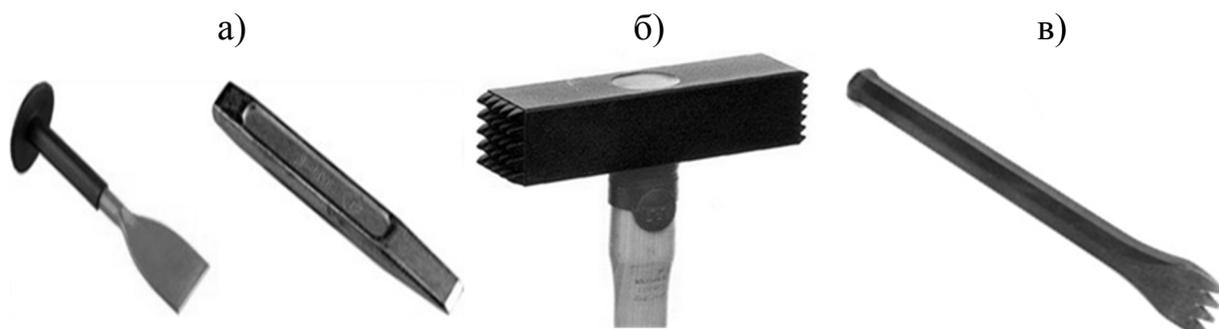


Рис. 7.11. Ударные инструменты: а – зубила; б – бучарда; в – троянка

Наковка поверхности позволяет удалить с накрывочного слоя пленку, образованную вяжущим материалом, чтобы вызвать игру или блеск кристаллов крошки естественного камня.

Наковкой каменной штукатурки можно получить следующие виды поверхности: «под шубу», «под штриховку» бороздками, «под дюны», «под рваный камень» или грубосколотый песчаник, «под тесанный песчаник». Так, отделки «под шубу» и «под штриховку» бороздками выполняют бучардами: первую с зубьями по 16, 26, 36 или 64, а вторую с лезвиями. В зависимости от этого, а также от размера и длины зубьев (лезвий), крупности заполнителя получают более мелко- или крупнозернистую фактуру покрытия с различной глубиной. Обработку поверхности штукатурки «под дюны», «под рваный камень» или грубосколотый песчаник (рис. 7.12) и «под тесанный песчаник» осуществляют при боковом ударе зубилами. В первом случае срубуют тонкий слой, при этом образуются небольшие углубления. Во втором – отламывают крупные неровности (рис. 7.12, б), а в третьем – скалывают не-

<sup>1</sup> представляет собой металлический четырехгранный молоток, две ударные поверхности которого покрыты пирамидальными зубцами для ударной обработки методом скалывания.

<sup>2</sup> представляет собой стальное зубило, острие которого обычно разделено на три части.

большие куски с затвердевшей декоративной поверхностью толщиной 4–6 см с рустами между намеченными камнями.

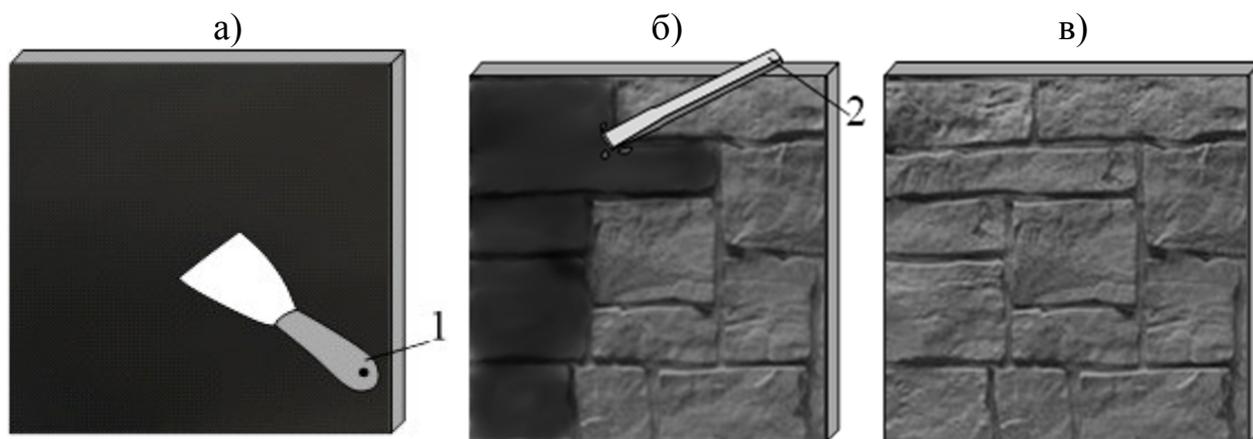


Рис. 7.12. Наковка каменной штукатурки «под рваный камень»: а – нанесение накрывочного слоя; б – наковка камней или рустов; в – готовая штукатурка; 1 – шпатель; 2 – зубило

При различном расположении борозд на поверхности, обычно разбиваемой на камни, получают шашечную, елочно-желобчатую или наклонно-желобчатую фактуру. Поверхность обрабатывают троянкой в двух перпендикулярных направлениях по заштрихованным линиям в шашечном, елочно-желобчатом и наклонно-желобчатом порядке.

Для получения штампованной фактуры на свеженанесенный и уплотненный раствор каменной штукатурки укладывают штамп с набитым рисунком и наносят по нему сильные удары. Затем снимают штамп и на поверхности остается узор, а после схватывания раствора и выдержки снимают цементный слой для обнажения заполнителя.

Каменную штукатурку можно получить шлифовкой или оттиркой затвердевшей поверхности наждачным или карборундовым бруском или камнем. При этом толщина накрывки составляет 5 мм, а размер зерен применяемой цветной каменной крошки – 2,5–3,0 мм.

При создании шероховатой фактуры каменной штукатурки по обработанной штампом и затвердевшей (через 3–4 дня) поверхности выполняют травление 3–15 % раствором соляной кислоты. Она разрушает поверхностный слой затвердевшего цемента, обнажая чистую и блестящую поверхность каменной крошки. После очистки жесткой щеткой поверхность несколько раз промывают водой во избежание появления желтых пятен. В данной штукатурке не используют пигменты, а различная окраска достигается подбором

природных цветных заполнителей (каменной и гранитной крошки, крошки кирпича, антрацита).

Обработку каменной штукатурки ведут не только в затвердевшем состоянии, но и в пластичном циклевании, получая отделку в виде мелких борозд (штриховки) по профилю зубьев (глубина 2–3 и ширина 3–4 мм) цикли. После нанесения декоративного раствора штукатурку выдерживают один день и потом приступают к циклевке.

### ***7.5.3. Изготовление структурного покрытия***

Благодаря многофракционному составу и способу нанесения структурной штукатурки можно создавать разнообразные рисунки на поверхности. Кроме того, этот материал отличает замечательная пластичность раствора и «податливость» любому инструменту.

Выполнение структурного покрытия лучше рассмотрим на примере штукатурки «короед» (рис. 7.13). Так, технологию нанесения декоративной накрывки «короед» можно разделить на три основных этапа:

- 1) распределение смеси по поверхности;
- 2) формирование рисунка при помощи инструмента;
- 3) шлифовка и колеровка (тонирование) покрытия.

Первый этап заключается в том, что декоративный раствор распределяют, держа инструмент под углом 30 °, равномерным тонким слоем по поверхности на толщину зерна заполнителя (рис. 7.13, а). Смесь наносят неширокими полосами по вертикали с одинаковой силой нажима. Последующие полосы делают при перекрывании края предыдущего на 5–7 мм. Однако нельзя допускать высыхания отдельных участков, так как будут видны переходы между слоями.

На некоторое время (около 30 мин) обработанное покрытие оставляют для схватывания раствора и сцепления его со стеной. Готовность штукатурки к дальнейшей обработке определяют по отсутствию блеска на поверхности.

Следующим этапом является создание рельефа на поверхности, который может иметь самые разнообразные варианты узора (рис. 7.13, б–и). Для этого используют различные инструменты, например, пластиковую или деревянную кельму, или гладилку. Прикладывая ее к поверхности и немного прижимая, выполняют равномерные и аккуратные движения в одном направлении, каждый раз удаляя излишки материала с инструмента. При этом на

одном месте не водят несколько раз и стыки двух полос обязательно увлажняют водой.

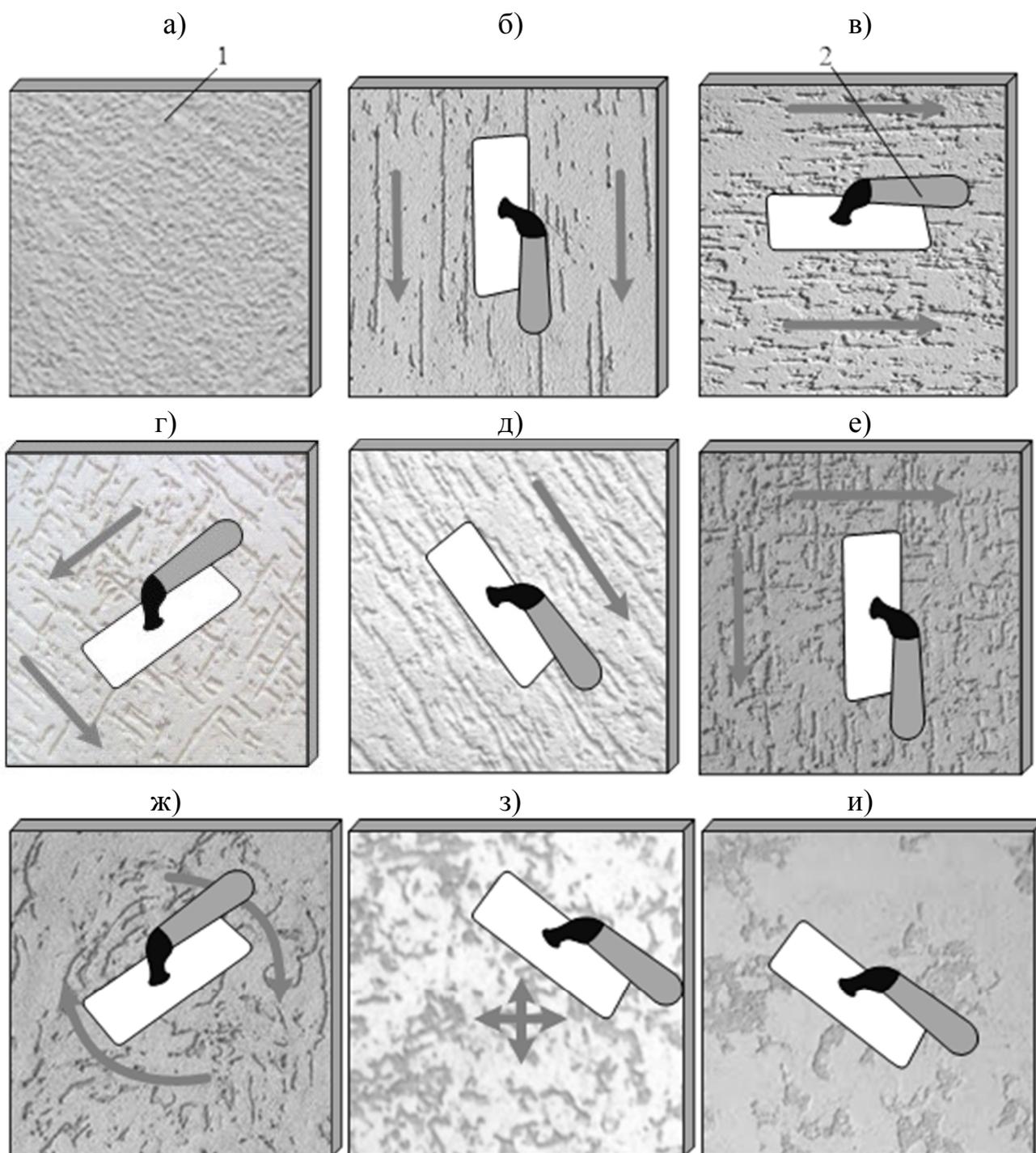


Рис. 7.13. Изготовление структурной штукатурки «короед»: а – равномерное покрытие; б – вертикальная затирка; в – горизонтальная затирка; г – диагональная затирка; текстуры: д – «дождик»; е – «ковер»; ж – «пробка»; з – «травертин»; и – «карта мира»; 1 – слой декоративной штукатурки; 2 – пластиковая или деревянная кельма, или гладилка

При разравнивании покрытия мраморная крошка, входящая в состав штукатурки, процарапывает бороздки тем самым создавая рисунок. В зави-

симости от диаметра зерен (от 0,1 до 3,5 мм) можно получать различной глубины и ширины бороздки.

Самыми простыми движениями кельмы вверх и вниз получают вертикальный объем (рис. 7.13, б), а вправо и влево – горизонтальный (рис. 7.13, в). Чередую длинные и короткие вертикальные с горизонтальными полосами, осуществляют диагональную затирку поверхности (рис. 7.13, г), а если бороздки между собой перекрещивать, то можно получить узор крест-накрест.

Кроме того, с помощью штукатурки «короед» можно выполнить несколько нестандартных вариантов текстур:

- «дождик» (рис. 7.13, д) – непрерывными движениями кельмы по диагонали из левого верхнего угла в правый нижний или наоборот получают наклонные линии разной длины, имитируя тем самым косой дождь;

- «ковер» (рис. 7.13, е) – чередуя вертикаль и горизонталь с небольшим размахом (стороной квадрата), производят затирание кельмой в шахматном порядке, получая покрытие в виде ковра;

- «пробка» (рис. 7.13, ж) – пластиковой гладилкой для захвата большей поверхности выполняют энергичные круговые движения по спирали или окружности, у которых должно быть одно направление и очень маленький радиус, при этом получая вид пробкового покрытия.

- «травертин» (рис. 7.13, з) – по гладкому покрытию штукатурки кельмой совершают короткие хаотичные и отрывистые движения, двигаясь в разных направлениях и имитируя неровную поверхность камня;

- «карта мира» (рис. 7.13, и) – является достаточно сложной в исполнении техникой, состоящей из двух слоев декоративной накрывки. Так, первый слой штукатурки заглаживают любым, не слишком выраженным способом и ждут его высыхания. Затем накрывку накладывают в виде отдельных мазков или фрагментов, пятнами разного размера со значительными пропусками между ними в разных направлениях. При этом данный слой заглаживают в любой другой технике с заметной разницей, но без диссонанса.

Завершающим этапом работы будет шлифование затвердевшей штукатурки. Для этого по поверхности проходят чистой кельмой или мелкой шкуркой, придавая более сглаженный, смягченный и естественный рисунок. Далее основание колеруют в выбранный цвет и дают просохнуть покрытию в течение 48 ч.

#### **7.5.4. Выполнение фактурной штукатурки**

Фактурная штукатурка придает основанию рельефные очертания, т.е. итоговый рисунок создают при помощи рельефности. При нанесении данного материала изображение на поверхности формируют механическим методом за счет использования специальных инструментов. При этом следует учитывать, что техника нанесения фактурных штукатурок сложнее из-за сохранения рельефности покрытия, а также состав смеси менее липкий, чем у структурных.

На финальное изображение оказывают влияние и виды мазков, которые могут быть широкими, узкими или короткими, с большим или меньшим размахом.

Для создания необходимой рельефности поверхности применяют большое количество различных приспособлений, начиная от специальных, например, кельмы или шпателя, заканчивая подручными средствами в виде поролоновой губки, скрученной бумаги или пищевой пленки. В качестве примера рассмотрим технологии нанесения фактурной штукатурки с помощью кельмы, зубчатого шпателя, фактурного или рельефного валика и губки (рис. 7.14).

В первую очередь перед созданием любой фактуры необходимо на подготовленное основание предварительно нанести тонкий промежуточный слой (подложка) с частичками мелкофракционного песка для достижения большего сцепления между слоями.

При отделке кельмой (рис. 7.14, а), слегка углубляя ее в штукатурку, отрывистыми движениями создают рисунок полосами с гладкой поверхностью в горизонтальном и вертикальном расположении или со сложными поворотами. Кроме того, с помощью данного инструмента можно повторить фактуру дикого камня. Для этого движения осуществляют отрывисто и хаотично со свободной формой поверхности.

Для создания волнообразного бороздчатого рисунка (рис. 7.14, б) по свежей массе зубчатым шпателем проводят постепенно друг за другом или замысловато полукруговыми, круговыми или волнистыми движениями. Кроме того, от конфигурации края шпателя и угла его наклона зависит глубина и форма полученных борозд.

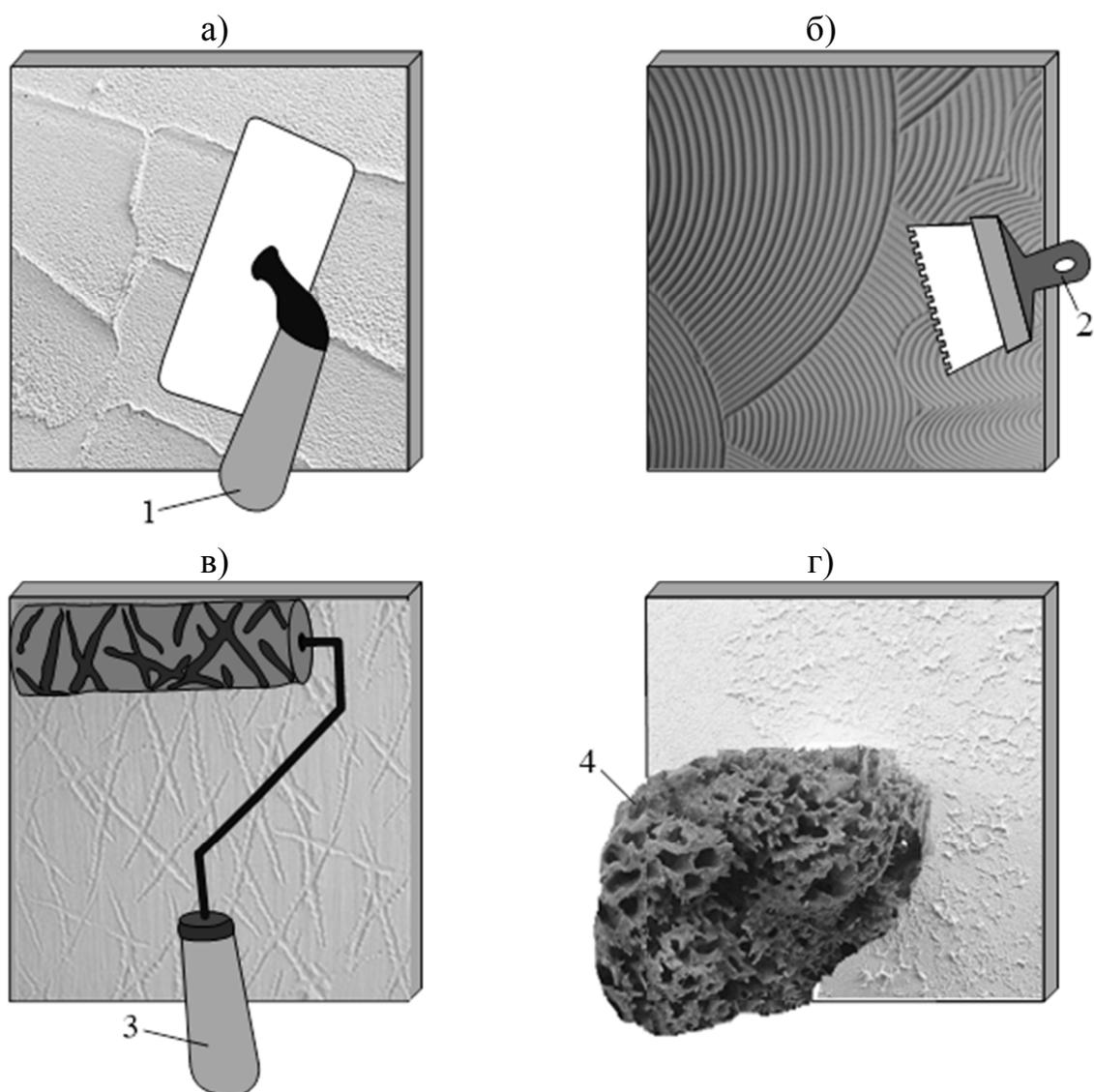


Рис. 7.14. Изготовление фактурной штукатурки при помощи: а – кельмы 1; б – зубчатого шпателя 2; в – фактурного валика 3; г – губки 4

В результате использования рельефного или фактурного валика (рис. 7.14, в) можно создавать многочисленный спектр узоров в зависимости от нанесенного на него рисунка. Например, проводя по поверхности валиком в одном направлении по всей длине или высоте, или разнонаправленными штрихами для создания раздробленного орнамента.

Формирование фактуры с помощью губки (рис. 7.14, г) производят вдавливанием ее в раствор и поворачиванием на  $180^\circ$ . Все движения повторяют до исчезновения на поверхности гладких участков покрытия. Для предотвращения липкости раствора к губке ее смачивают в мыльной воде.

### 7.5.5. Выполнение венецианской штукатурки

Венецианская штукатурка имеет прозрачную структуру с эффектом мрамора после высыхания. В отличие от рассмотренных видов декоративного покрытия венецианку наносят благодаря специальной и трудоемкой технике (рис. 7.15) от 4 до 10 слоев материала, что создает глубину и прозрачность.

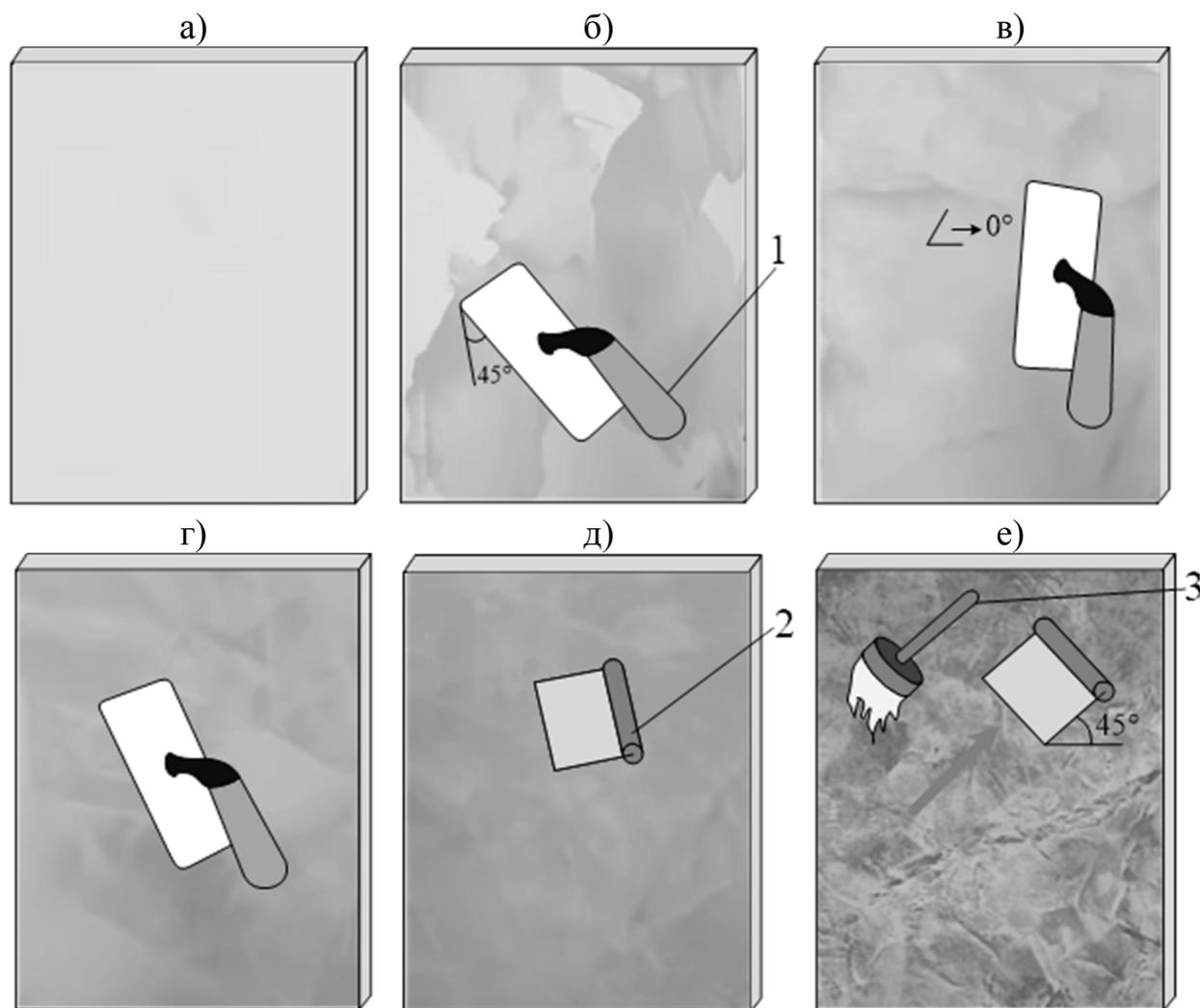


Рис. 7.15. Выполнение венецианской штукатурки: а – базовый слой; б – второй слой; в – затирка штукатурки всей поверхностью кельмы; г – третий слой; д – последующие слои; е – финишная отделка; 1 – кельма; 2 – японский шпатель; 3 – кисть с восковой эмульсией

Обязательным условием является то, что венецианскую штукатурку наносят на идеально (почти идеально) ровную, чистую и сухую поверхность основания, иначе все мельчайшие дефекты из-за прозрачности будут видны.

После высыхания специального грунта кельмой наносят небольшое количество состава на основание движением снизу-вверх, прижимая плотно кельму (рис. 7.15, а). Быстрыми движениями смесь распределяют по всей

площади очень тонким и прозрачным слоем, избегая резких стыков по прямым линиям, его еще называют базовым. Для избавления от налипшей на инструмент штукатурки используют влажную ткань, очищая его примерно через каждые 3–4 движения. Затем дают просохнуть покрытию не менее 4–8 ч. Первый слой должен быть сплошным и равномерным, так как он задает тон будущей работе.

Второй слой выполняют кельмой под небольшим углом  $45^\circ$  к поверхности (рис. 7.15, б) короткими рваными движениями парно, крест-накрест, перекрывая одно другим и снимая при этом излишки. Кроме того, второй слой можно колеровать немного темнее, что придаст большую натуральность покрытию «под мрамор». В итоге рельеф базы перекрывается и на поверхности появляются прожилки.

Для характерного глянца покрытие сразу многократно шлифуют чистой кельмой с небольшим нажимом почти параллельно основанию (рис. 7.15, в), это проводят после нанесения каждого слоя.

Накрывку третьего слоя осуществляют кельмой, держа ее под небольшим углом  $15\text{--}20^\circ$  к поверхности (рис. 7.15, г), разнонаправленными движениями по дуге.

Для последующих слоев в работе используют японский шпатель (рис. 7.15, д), которым совершают по поверхности более короткие движения и мелкие мазки в различных направлениях.

Большее количество слоев позволяет получить более естественную и привлекательную текстуру. При этом каждому слою необходимо просохнуть перед нанесением последующего.

После нанесения последнего слоя спустя 15–20 мин покрытие полируют, плотно прижимая и обрабатывая размашистыми хаотичными движениями.

К финишной отделке приступают после полного высыхания (через неделю) всего основания (рис. 7.15, е). Далее на всю поверхность наносят тонким слоем восковую эмульсию с помощью кисти и затем ее затирают.

#### ***7.5.6. Объемная штукатурка***

Выполнение объемной штукатурки заключается в создании рельефных рисунков (барельеф, контррельеф, горельеф (разновидность скульптурного выпуклого рельефа, в котором изображение выступает над плоскостью фона

более, чем на половину объёма изображаемых частей) и т.д.) или панно на оштукатуренной поверхности. При этом такие объемные картины сочетают в себе еще и линию перспективы с эффектом 3D.

Создание объемных рисунков с помощью декоративной штукатурки осуществляют за счет применения особых инструментов, таких как мастихин (тонкая упругая стальная пластинка в виде лопаточки или ножа), работа с которым позволяет выполнять тончайшие и замысловатые элементы изображения. Используемые инструменты обязательно должны быть идеально ровными и гладкими, а также после каждого этапа нанесения их очищают и протирают.

Вначале необходимо выбрать рисунок, который будет впоследствии изготовлен на основании, и сделать его эскиз. Затем необходимо нанести фактуру на всю поверхность или сделать подложку на основе декоративной штукатурки, на которой и будет в дальнейшем создан объемный рельеф. Для этого хаотичными или повторяющимися движениями (круговыми или волнообразными) кельмой материал распределяют по основе и дают просохнуть определенное время (от 3 до 48 ч) в зависимости от толщины слоя. При необходимости можно тонировать подложку.

Для изготовления рельефа нужно сначала определить самые объемные места лепнины, где требуется нанесение более толстого слоя штукатурки. Если создают горельеф, то дополнительно необходимо изготовить каркасы из проволоки и установить их на самые сильно выступающие элементы картины.

Для облегчения лепки можно нанести на оштукатуренную основу контуры рисунка, которые впоследствии будут заполняться штукатуркой пастой.

При помощи мастихина, держа его у основания, забирают штукатурку под углом  $45^\circ$  и наносят первый слой состава на подложку, формируя мазками в одну и другую стороны элемент изображения (рис. 7.16, а).

В конце процесса нанесения слоя штукатурки необходимо «похлопать» поверхность для удаления пустот в лепнине. Более объемные детали моделируют в несколько слоев (можно до 4–5 см). Нарращивание массы барельефа проводят с запасом на шлифовку. Обязательно каждый последующий пласт штукатурки должен просохнуть, при этом нижние слои можно не разглаживать, оставить ребристость для лучшего сцепления и связывания с верхними.

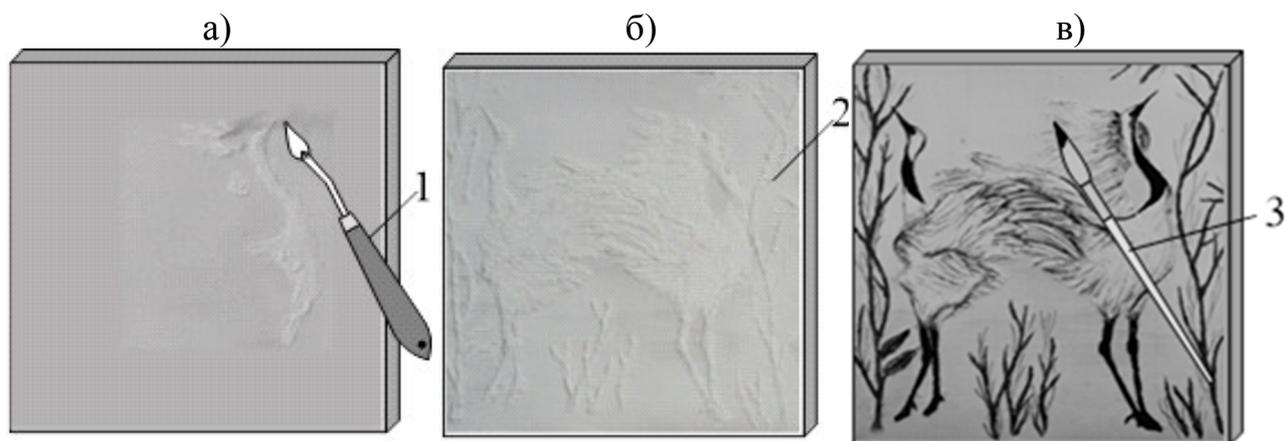


Рис. 7.16. Выполнение объемной штукатурки: а – нанесение основных элементов; б – проработка деталей; в – окрашивание или тонирование; 1 – мастихин или стек; 2 – кисть

Кроме того, каждый сделанный элемент картины выравнивают примерно через час после нанесения для гладкости. После полного высыхания штукатурки (от 8 до 48 ч) осторожно обрезают излишки на деталях, точат и шлифуют (рис. 7.16, б) до безупречного состояния. Если материал не высох, то при постукивании по непросохшей лепнине звук будет глухой.

После полного высыхания приступают к тонировке изделия (рис. 7.16, в), которую осуществляют на основе любых окрашивающих составов или лессирующих покрытий, и дают просохнуть в течение 24 ч.

### 7.6. Дефекты декоративного покрытия

В процессе выполнения декоративного покрытия или на самой готовой работе иногда возможно появление различного вида дефектов, таких как:

1) недостаточная прочность декоративного покрытия может быть вызвана низким качеством вяжущих материалов, большой загрязненностью песка, примесями глины, ила в сырье и неправильным подбором состава раствора;

2) вспучивания, отлупы могут быть из-за несоблюдения требований технических условий, а также являются результатом нанесения растворов на сырые поверхности;

3) высолы (появляющиеся при испарении влаги через штукатурный слой), пятна и полосы на покрытии штукатурки вызваны непросушенной поверхностью и из-за использования в растворах химических добавок;

4) трещины бывают нескольких видов:

а) усадочные трещины (множество трещин разных размеров на поверхности штукатурки) проявляются благодаря: применению жирных растворов; плохо перемешанных растворов; слишком быстрым высыханием нанесенного раствора (при сквозняках, на солнце и при искусственном просушивании штукатурки); применением растворов, начавших схватываться до их использования; нанесением последующего слоя на несхватившийся;

б) сетка трещин на поверхности штукатурки вызывается малой толщиной штукатурного слоя;

5) слабое сцепление штукатурного слоя с основанием является следствием недостаточной шероховатости оштукатуриваемых поверхностей, их загрязнением, запылением и чрезмерной толщиной слоя обрызга и выполнением его густым раствором;

б) расслаивание штукатурного покрытия наблюдается после нанесения декоративного слоя на пересушенный слой без предварительного смачивания его водой или на загрязненный и запыленный слой;

7) полосы, борозды, неровности и т.п. на поверхности образуются в результате небрежного выполнения штукатурного покрытия или нанесения последующего слоя на основе более прочного слоя на менее прочный.

### **7.7. Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое декоративная штукатурка?
2. Какие виды декоративных штукатурок вы знаете?
3. Как подготовить поверхность под декоративную штукатурку?
4. Назовите основные штукатурные слои.
5. Назовите основные этапы выполнения венецианской штукатурки.
6. Какие инструменты используются при выполнении отделки терразитовой штукатуркой?
7. Какие способы выполнения фактурной штукатурки вы знаете?
8. Приемы изготовления штукатурки «короед».
9. Какой инструмент используют при выполнении каменной штукатурки?
10. Каково предназначение грунтовки?
11. Какие наполнители используют в декоративных штукатурках?
12. Назовите основные этапы выполнения объемной декоративной штукатурки.

## 8. БЕТОН

На сегодняшний день бетон является одним из наиболее распространенных строительных материалов, применяемых практически во всех отраслях строительства. При необходимости в бетонную смесь вводят специальные добавки, улучшающие его технологические и структурные характеристики.

**Бетон** – это искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания специально приготовленной, уплотненной бетонной смеси, состоящей из вяжущего материала, крупного и мелкого заполнителя и воды.

**Бетонная смесь** представляет собой сложную многокомпонентную систему, которую получают при затворении водой. Эта система состоит из правильно подобранной смеси вяжущего, мелкого и крупного заполнителей. В нее также могут входить специальные добавки и вовлеченный в процессе приготовления смеси воздух.

### 8.1. Классификации бетонов

В настоящее время в строительстве используют различные виды бетона. Разобраться в их многообразии помогает классификация бетонов. Бетоны классифицируют по виду вяжущего материала, соотношению между вяжущим и заполнителем, типу заполнителя, плотности, удобоукладываемости и областям применения.

Бетоны подразделяются на виды, исходя из главной составляющей, которая во многом определяет его свойства, принято выделять следующие типы бетона по применяемому **виду вяжущего вещества** (рис. 8.1).

**Цементные бетоны.** Цементные бетоны производят на основе портландцемента или его разновидностей. К подвидам цементного бетона принято относить:

- декоративные бетоны, изготавливаемые на белом и цветном цементе;
- бетоны для самонапряженных конструкций – на напрягающем цементе;
- бетоны для специальных целей, получаемые на особых видах цемента – глиноземистом, безусадочном и т.д.

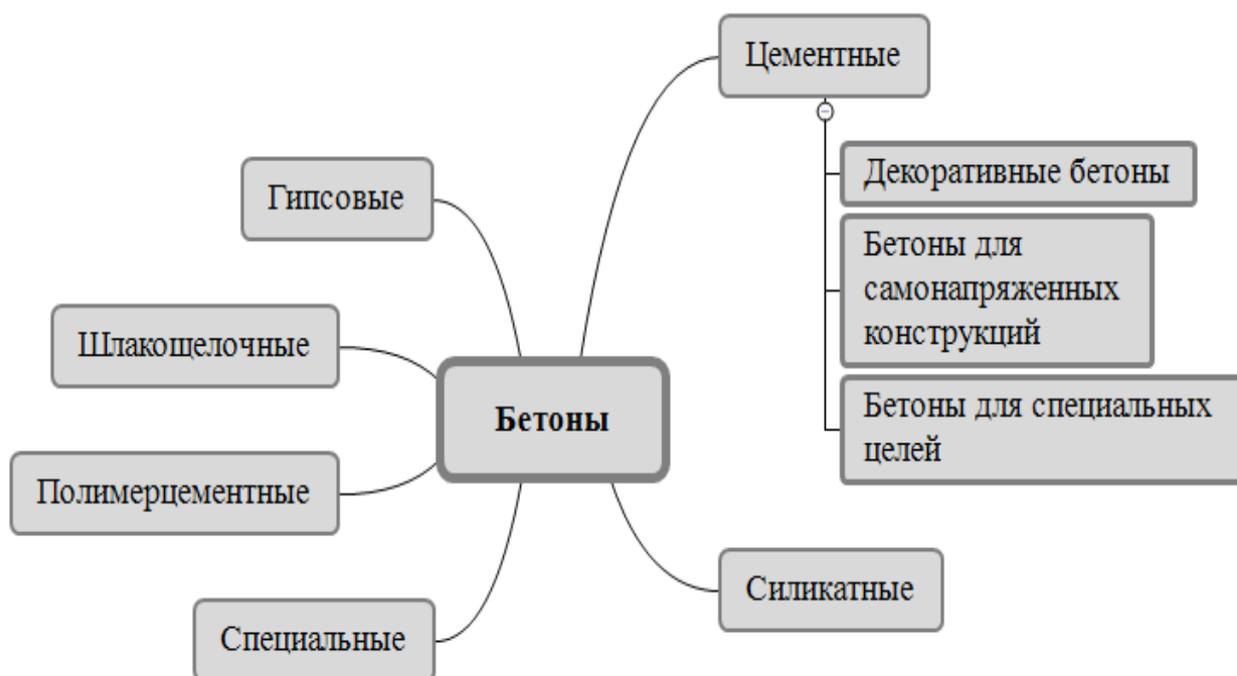


Рис. 8.1. Классификация бетона по виду вяжущего вещества

*Силикатные бетоны* готовят на основе извести и кремнеземистого компонента. Для производства изделий в этом случае применяют автоклавный способ твердения.

*Гипсовые бетоны* изготавливают на основе гипса. В основном данный вид бетона применяют в строительной отделке – это подвесные потолки, элементы отделки, внутренние перегородки и т.п.

*Шлакощелочные бетоны* изготавливают на основе молотых шлаков при затворении щелочными растворами. Шлакощелочные бетоны используют как конструкционные материалы в промышленном и гражданском строительстве, а также применяют для гидротехнических сооружений, в водохозяйственных постройках, в дорожном, сельском и транспортном строительстве.

*Полимерцементные бетоны* принято называть полимербетонами, которые изготавливают на смешанном вяжущем, состоящем из цемента и полимерного вещества. Полимер (на основе полиэфирных, карбамидных и эпоксидных смол) или мономер и есть терморезактивное органическое связующее, используемое в данных видах бетонов. Полимербетон широко применяется во многих отраслях промышленности – это облицовочные панели, водяные резервуары, дренажные отводы, дорожные ограждения, емкости для химически активных веществ, фундаменты для промышленного оборудования, конструкции подземных коммуникаций и т.п.

*Специальные бетоны* готовят с использованием особых вяжущих веществ. Например, в состав кислотоупорных и жаростойких бетонов могут входить жидкое стекло с кремнефтористым натрием, фосфатное, магнезиальное или другие связующие. Они необходимы для специальных целей или особых условий эксплуатации изделий на их основе.

По *соотношению между вяжущим веществом и заполнителем* бетоны делят:

- на тощие (с пониженным содержанием вяжущего вещества и повышенным содержанием крупного заполнителя);
- жирные (с повышенным содержанием вяжущего вещества и пониженным содержанием крупного заполнителя);
- товарные (с соотношением заполнителей и вяжущего вещества по стандартной рецептуре).

В зависимости от *вида заполнителей* различают:

- крупнозернистый бетон;
- мелкозернистый бетон (песчаный);
- малощебеночный, в котором уменьшено содержание щебня;
- крупнопористый или беспесчаный;
- ячеистый, в структуре которого имеется большое количество воздушных или газовых пузырьков.

По *плотности* бетоны делят на особо тяжелые с плотностью более 2500 кг/м<sup>3</sup>; тяжелые – 1800–2500 кг/м<sup>3</sup>; легкие – 600–1800 кг/м<sup>3</sup>; особо легкие – менее 600 кг/м<sup>3</sup>.

В строительстве наиболее широко используют тяжелый бетон с плотностью 2100 – 2500 кг/м<sup>3</sup> на плотных заполнителях из горных пород (гранит, известняк, диабаз и др.). Облегченный бетон с плотностью 1800 - 2000 кг/м<sup>3</sup> получают на щебне из горных пород с плотностью 1600 – 1900 кг/м<sup>3</sup> или без песка (крупнопористый бетон).

Легкие бетоны изготавливают на пористых заполнителях (керамзит, аглонорит, вспученный шлак, пемза, туф и др.). Применение легких бетонов уменьшает массу строительных конструкций.

К особо легким бетонам относятся ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон) и крупнопористый бетон на легких заполнителях.

*По удобоукладываемости* бетоны разделяют:

- на сверхжесткие (жесткость более 50 с);
- жесткие (жесткость от 5 до 50 с);
- подвижные (жесткость менее 4 с);

В зависимости от используемой технологии различают бетоны из жестких бетонных смесей, позволяющие, как правило, немедленную распалубку изделий, литые бетоны для изготовления изделий и конструкций способом литья в форму, безусадочные, быстротвердеющие, пропаренные, автоклавные бетоны для зимнего бетонирования, твердеющие при отрицательных температурах, и ряд других.

Бетон также подразделяют в зависимости от *области применения*:

- бетон для железобетонных конструкций. Бетон, используемый для балок перекрытий, фундаментов, крупных опорных конструкций, колон и т.п.;
- бетон для ограждающих конструкций;
- гидротехнический бетон. Это бетон с высоким уровнем водостойкости. Область применения данного класса бетона – канализация, шлюзы и плотины, облицовка набережных, каналов, водопроводно-канализационных сооружений и т.п.;
- бетоны для покрытий применяют для тротуаров, дорог и других покрытий;
- бетон специального назначения, например, жаростойкий, для радиационной защиты, бетон для полов, тротуаров, дорожных и аэродромных покрытий и т.п.

## **8.2. Материалы для производства бетона**

В качестве материалов для изготовления бетонных изделий используют: вяжущее вещество, крупный и мелкий заполнитель, модифицирующие добавки, затворитель и армирующие элементы. Состав бетона представлен на рис. 8.2.

Вяжущими веществами для приготовления бетона являются: гипс, известь, портландцемент и его разновидности. Подробно об этих материалах рассмотрено в главах 2, 4 и 6 соответственно.

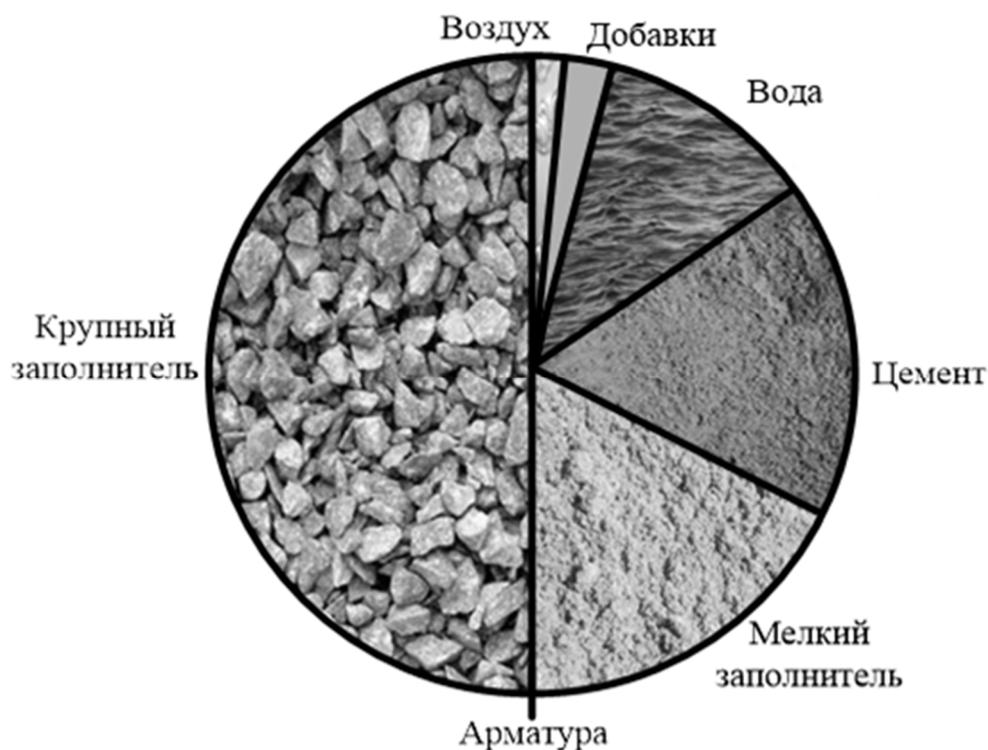


Рис. 8.2. Состав бетона

Заполнители – это природные или искусственные материалы определенного зернового состава, которые в рационально составленной смеси с портландцементом и водой образуют бетон.

Заполнители занимают в бетоне до 80 % объема и оказывают влияние на свойства бетона, его долговечность и стоимость. Введение в бетон заполнителей позволяет резко сократить расход цемента, являющегося наиболее дорогим и дефицитным компонентом. Кроме того, заполнители улучшают технические свойства бетона. Жесткий скелет из высокопрочного заполнителя несколько увеличивает прочность и модуль деформации бетона, уменьшает деформации конструкций под нагрузкой, а также ползучесть бетона – необратимые деформации, возникающие при длительном действии нагрузки. Заполнитель уменьшает усадку бетона, способствуя получению более долговечного материала.

В составе бетонной смеси используется крупный и мелкий заполнитель. Мелкий заполняет пустоты между крупным, тем самым уплотняя и упрочняя каркас материала. Крупный заполнитель (с размерами 5–70 (80) мм) подразделяют на щебень, гравий, габбро-диабаз и др. (рис. 8.3). Наибольшее применение получили щебень и гравий, соответствующие требованиям ГОСТ 8267–93, причиной тому являются достаточно высокие эксплуатационные характеристики.

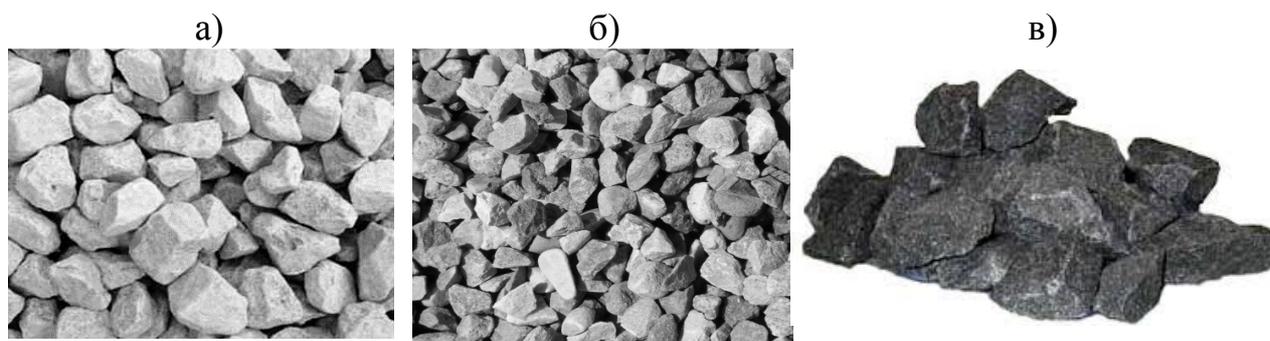


Рис. 8.3. Примеры крупного заполнителя: а – известняковый щебень; б – гравийный щебень; в – габбро-диабаз

Мелким заполнителем в бетоне является естественный или искусственный песок (рис. 8.4, а), гранитная крошка с размерами зерен 0,16–5 мм (рис. 8.4, б). Природный песок должен соответствовать требованиям ГОСТ 8736–2014.

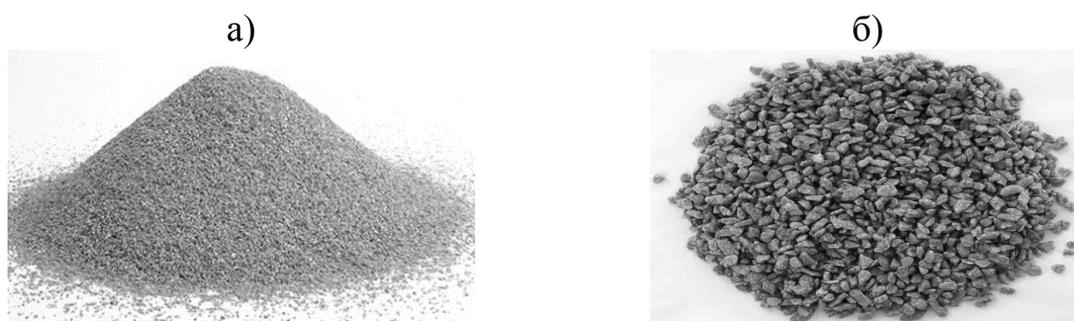


Рис. 8.4. Примеры мелкого заполнителя: а – природный песок; б – гранитная крошка

С помощью песка равномерно и плотно заполняются пустоты между крупными зернами щебня, ведь чем меньше количество пустот, тем выше его качество, и тем долговечнее будет изделие из него.

Под добавками для бетонов и строительных растворов в соответствии с ГОСТ 24211–2008 понимают различные продукты, вводимые в бетонные и растворные смеси с целью улучшения их технологических свойств, повышения строительно-технических свойств бетонов и растворов и придания им новых свойств.

Добавки представляют собой химические вещества как органического, так и неорганического состава. Их вводят в бетонную смесь, как правило, с водой затворения.

Добавки для бетонов можно классифицировать в зависимости от их назначения (основного эффекта действия):

1. Регулирующие свойства бетонных смесей: пластифицирующие; стабилизирующие; водоудерживающие; улучшающие перекачиваемость; регулирующие сохраняемость бетонных смесей; замедляющие схватывание; ускоряющие схватывание; поризующие (для легких бетонов): воздухововлекающие, пенообразующие, газообразующие.

2. Регулирующие твердение бетона: замедляющие и ускоряющие твердение.

3. Повышающие прочность и (или) коррозионную стойкость, морозостойкость бетона и железобетона, снижающие проницаемость бетона: водоредуцирующие; газообразующие; воздухововлекающие; повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре (ингибиторы коррозии стали).

4. Придающие бетону специальные свойства: противоморозные (обеспечивающие твердение при отрицательных температурах); гидрофобизирующие.

В качестве затворителя для приготовления бетонной смеси в основном используют водопроводную питьевую, а также любую воду, соответствующую требованиям ГОСТ 23732–2011, имеющую водородный показатель pH не менее 4, т.е. не кислую. Вода не должна содержать сульфатов более 2700 мг/л (в пересчете на  $SO_4$ ) и всех солей более 5000 мг/л. В сомнительных случаях пригодность воды для приготовления бетонной смеси необходимо проверять путем сравнительных испытаний образцов, изготовленных на данной воде и на обычной водопроводной.

Для приготовления бетонной смеси можно также применять морскую и другие соленые воды. Исключением использования таких вод является бетонирование внутренних конструкций жилых и общественных зданий и надводных железобетонных сооружений в жарком и сухом климате, так как морские соли могут выступить на поверхности бетона, а также вызвать коррозию стальной арматуры.

Для армирования бетона применяется арматура (рис. 8.5) следующих видов:

- 1) сталь горячекатаная по ГОСТ 5781–82 (рис. 8.5, а);
- 2) прокат арматурный свариваемый периодического профиля горячекатаный и холоднодеформированный по ГОСТ Р 52544–2006 (рис. 8.5, б);
- 3) прокат фасонный – ГОСТ 27772–88 (рис. 8.5, в).

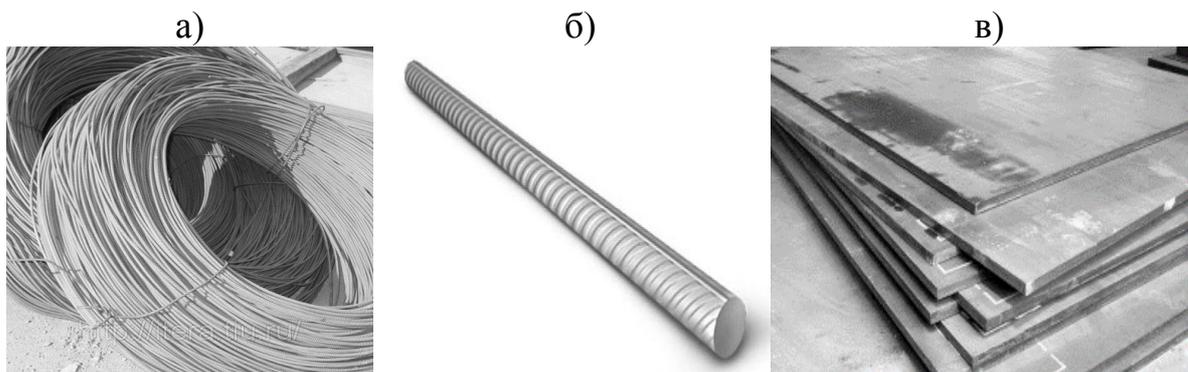


Рис. 8.5. Арматура: а – сталь горячекатаная класса А1; б – прокат свариваемый профиля класса А500С; в – прокат фасонный класса С235

Арматура должна изготавливаться из сталей, обладающих требуемой прочностью, пластическими свойствами, а в необходимых случаях также свариваемостью, выносливостью и др. свойствами; в бетонных конструкциях она должна надежно работать совместно с бетоном на всех стадиях эксплуатации конструкций.

Для облегчения массы конструкций вместо стальной арматуры применяют тонкостенные трубы.

Сегодня в современных изделиях из бетона армирующим материалом также является фиброволокно или фибра.

**Фибра** – это непрерывные комплексные нити различной длины тончайшего микроволокна, нарубленные на отрезки одинаковой длины при сохраненной их структуре и используемые для армирования материалов. Она бывает металлической (рис. 8.6, а), синтетической (рис. 8.6, б) и минеральной (рис. 8.6, в–г).

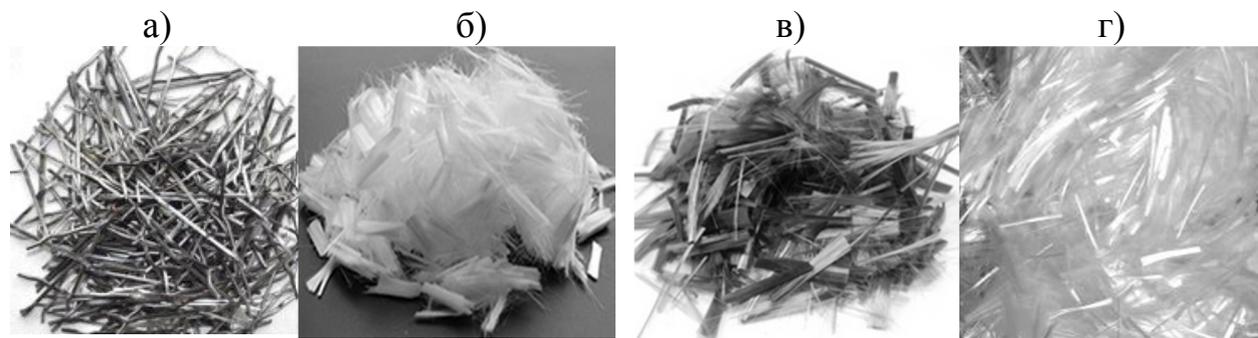


Рис. 8.6. Виды фибр: а – стальная; б – полипропиленовая; в – базальтовая; г – стекловолоконная

В декоративно-художественных изделиях в основном применяется стекловолоконно. **Стекловолоконно** – это щелочестойкое стеклянное волокно в виде непрерывной нити, обладающее высокой долговечностью.

### 8.3. Основные свойства бетонной смеси и бетона

При изготовлении железобетонных изделий и бетонировании монолитных конструкций важным свойством бетонной смеси является *удобоукладываемость* (или удобоформуемость), т.е. способность заполнять форму при способе уплотнения, сохраняя свою однородность.

Для обеспечения высокого качества бетона необходимо использовать бетонную смесь определенной подвижности или жесткости, соответствующую своей марке по удобоукладываемости (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Классификация бетонных смесей по удобоукладываемости

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю	
	жесткость (с)	подвижность (см)
Ж4	31 и более	–
Ж3	21–30	–
Ж2	11–20	–
Ж1	5–10	–
П1	1–4	4 и менее
П2	–	5–9
П3	–	10–15
П4	–	16 и более

Для определения *подвижности*, т.е. способности смеси расплываться под действием собственной массы и связанности бетонной смеси, служит стандартный конус. Он представляет собой усеченный, открытый с обеих сторон конус из листовой стали толщиной 1 мм. Высота конуса 300 мм, диаметр нижнего основания 200 мм, верхнего 100 мм. Мерой подвижности смеси служит величина осадки конуса, которую измеряют сразу же после снятия формы с заполненного (с уплотнением) бетонной смесью конуса (рис. 8.7). Подвижность бетонной смеси вычисляют как среднее двух определений, выполненных из одной пробы смеси.

В зависимости от осадки конуса различают малоподвижные (пластичные) от 1–4 см, подвижные (под действием силы тяжести оседают) от 5 до 10 см, очень подвижные от 11 до 20 см и литьевые более 21 см бетонные смеси.

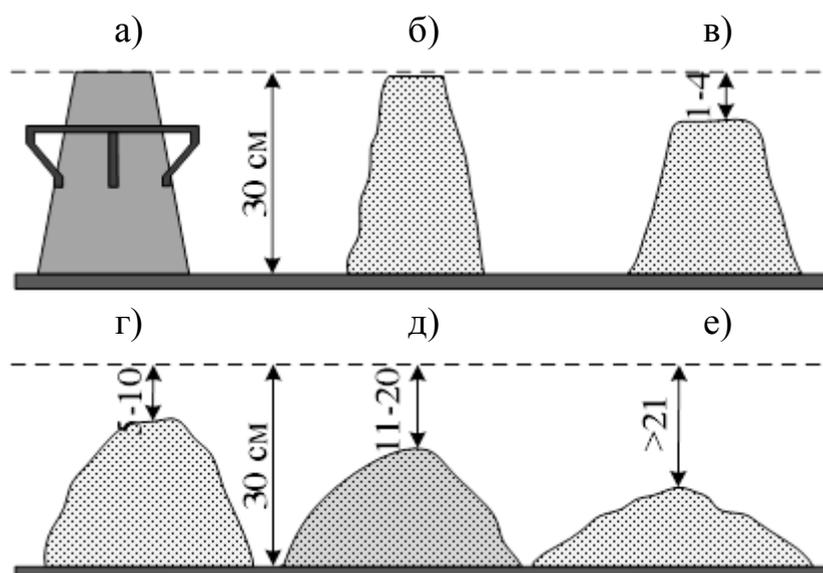


Рис. 8.7. Определение подвижности бетонной смеси с помощью конуса:  
а – общий вид; б – жесткая смесь; в – малоподвижная; г – подвижная;  
д – очень подвижная; е – литьевая

При малых расходах воды бетонные смеси не показывают осадки конуса, однако при приложении внешнего силового воздействия такие смеси обладают различными формовочными свойствами. Такие смеси называют жесткими.

*Жесткость* бетонной смеси характеризуется временем вибрирования, необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости.

Большое влияние на качество перемешивания бетонной смеси оказывает его продолжительность.

При недостаточной продолжительности перемешивания ухудшается однородность бетона и понижается его прочность. Увеличение продолжительности перемешивания сверх оптимальной, соответствующей получению однородной бетонной смеси, мало сказывается на свойствах бетона и бетонной смеси.

*Прочность* бетона является основным показателем его механических свойств. Она определяется пределом *прочности при сжатии* стандартных образцов-кубов, изготовленных из данной бетонной смеси и выдержанных до испытания в течение 28 сут в естественных условиях (при 15–20 °С и относительной влажности воздуха не менее 90 %). По прочностным характеристикам для тяжелых бетонов установлены следующие марки: М200, М250, М300, М350, М400, М450, М500, М600, М700, М800.

При бетонировании ряда конструкций, например, дорожных покрытий, важно знать прочность бетона при изгибе. Для этого испытывают образцы-балки. Для обычных железобетонных конструкций широко применяют бетон марок М200 и М250, а для предварительно-напряженных железобетонных конструкций – М300 – М500. Бетон марок М100 и М150 используют для оснований, фундаментов и других массивных монолитных конструкций.

Основные факторы, влияющие на показатель прочности бетона:

- активность цемента;
- соотношение массы воды и цемента в составе бетонной смеси (водоцементное отношение, В/Ц);
- зерновой состав заполнителей;
- последовательность загрузки его составляющих в бетоносмеситель.

Значительное влияние на прочность бетона оказывают степень уплотнения бетонной смеси, продолжительность и условия твердения бетона. Хорошо уплотненный бетон в благоприятных температурных и влажностных условиях непрерывно набирает прочность в течение ряда лет. При этом в первые 7–10 сут прочность бетона растет довольно быстро, затем к 28 сут замедляется и, наконец, в возрасте свыше 1 года постепенно затухает.

Фактическую прочность бетона в конструкциях определяют испытанием контрольных образцов, изготовленных из той же бетонной смеси и твердеющих в условиях аналогичных условиям эксплуатации конструкций. Большое влияние на скорость нарастания прочности бетона оказывает температура окружающей среды. При 70 – 85 °С в атмосфере насыщенного пара бетоны через 10 – 12 ч набирают прочность 60 – 70 % марочной. При низких положительных температурах (5 – 7 °С) окружающего воздуха скорость нарастания прочности бетона замедляется, а при температуре ниже 0 °С твердение бетона прекращается и возобновляется вновь при установлении в окружающей среде устойчивой положительной температуры.

**Плотность.** Обычный тяжелый бетон не является плотным материалом. Плотность бетона повышается при тщательном подборе зернового состава заполнителей, уменьшении водоцементного отношения и применении пластификаторов, снижающих водопотребность смеси при той же подвижности, а также за счет тщательного уплотнения бетонной смеси. С возрастанием

плотности бетона повышаются его свойства - прочность, водонепроницаемость, морозо- и коррозиестойкость и др.

**Водонепроницаемость.** Плотный бетон при толщине железобетонных конструкций более 200 мм, как правило, оказывается водонепроницаемым. Это свойство бетона характеризуется степенью водонепроницаемости, т. е. величиной наименьшего давления воды, при котором она еще не просачивается через бетонный образец.

По этому показателю бетоны разделяют на 12 марок: В2, В4, В6, В8, В10, В12, В14, В16, В18, В20, В25 и В30, т. е. на бетоны, которые выдерживают давление соответственно не менее 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 до 3 МПа. Для повышения водонепроницаемости бетона применяют специальные гидроизоляционные покрытия, например, уплотняющие добавки. Значительно возрастает водонепроницаемость бетона при применении расширяющихся цементов.

**Морозостойкость.** Тяжелые бетоны по степени морозостойкости делят на марки от Мрз 50 до Мрз 700. Морозостойкость бетона для жилых и промышленных зданий обычно характеризуется маркой Мрз 50. Высокой морозостойкостью обладают бетоны с плотной структурой на низкоалюминатном портландцементе и высококачественном гранитном щебне.

**Усадка и расширение.** При твердении на воздухе бетон (если он не на безусадочном или расширяющемся цементе) дает усадку, а при твердении во влажных условиях он может незначительно разбухать. Величина усадки тяжелого бетона обычно около 0,15 мм/м длины бетонного сооружения, что может повлечь за собой образование трещин в массивных и большеразмерных конструкциях. Для уменьшения усадки бетона следует избегать применения бетонов с большим расходом цемента, при этом необходимо использовать крупные заполнители хорошего зернового состава и обеспечивать влажный режим твердения бетона. При бетонировании массивных конструкций в первый период твердения бетона возможно его расширение от нагревания теплотой, выделяющейся при взаимодействии цемента с водой. С целью уменьшить тепловыделение бетона необходимо применять цементы с малой экзотермией, а также устраивать температурные или усадочные<sup>1</sup> швы.

---

<sup>1</sup> это зазор между отдельными частями конструкций сооружения, допускающий их взаимное перемещение, вызываемое температурным расширением материалов, и предназначенный для предотвращения трещин и деформаций в бетонных конструкциях.

Вследствие усадки бетона в железобетонных и бетонных конструкциях возникают усадочные напряжения, поэтому сооружения большой протяженности разрезают усадочными швами во избежание появления трещин. Ведь при усадке бетона 0,3 мм/м в сооружении длиной 30 м общая усадка составляет около 10 мм. Массивный бетон высыхает снаружи, а внутри он еще долго остается влажным. Неравномерная усадка вызывает растягивающие напряжения в наружных слоях конструкции и появление внутренних трещин на контакте с заполнителем и в самом цементном камне.

Наибольшую усадку имеет цементный камень. Введение заполнителя уменьшает количество вяжущего в единице объема материала, при этом образуется своеобразный каркас из зерен заполнителя, препятствующий усадке. Поэтому усадка цементного раствора и бетона меньше, чем цементного камня.

Бетон наружных частей гидротехнических сооружений, цементно-бетонных дорог периодически увлажняется и высыхает. Колебания влажности бетона вызывают попеременные деформации усадки и набухания, которые могут вызвать появление микротрещин и разрушение бетона.

**Огнестойкость.** Бетон является огнестойким материалом. Однако продолжительное воздействие температур в интервале 160–200 °С снижает прочность бетона на 25 – 30 %. При нагревании свыше 500 °С бетон разрушается. Конструкции, подвергающиеся воздействию температур более 200 °С, следует защищать теплоизоляционными материалами или выполнять их из жаростойкого бетона.

#### **8.4. Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое бетон и бетонная смесь?
2. Какие компоненты входят в состав бетона?
3. Что такое подвижность бетонной смеси?
4. Что применяют в качестве арматуры в бетоне?
5. Что такое фибра и какие ее виды существуют?
6. Что такое стекловолокно?
7. Назовите основные свойства бетонной смеси.
8. Что такое удобоукладываемость смеси?
9. Назовите основные факторы, влияющие на прочность бетона.
10. Как классифицируют бетоны по виду заполнителя?

## 9. ИСКУССТВЕННЫЙ МРАМОР

В древности для придания внешней или внутренней отделки здания благородного, даже царственного облика часто использовали мрамор или гранит. Сегодня достаточно распространенным аналогом традиционных натуральных материалов, получившим широкое распространение, является искусственный мрамор (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Варианты использования искусственного мрамора

Искусственный мрамор имеет множество преимуществ; достаточно только назвать исключительную прочность и относительно невысокую стоимость.

### 9.1. Основные сведения об искусственном мраморе и его виды

*Искусственный мрамор* - это отделочный материал с полированной поверхностью, представляющий собой имитацию природного камня. Он отлично подходит для изготовления промышленной и хозяйственной технической продукции: элементов сантехники, наливных полов, столешниц и мраморных плит. Более того, искусственный мрамор нашел применение и в художественной сфере: из него делают замечательные скульптуры, барельефы и прочие элементы декора. Им облицовывают каменные, бетонные, деревянные поверхности, а также используют в качестве элементов мебели.

Поверхность искусственного мрамора может имитировать различные горные породы (мрамор, малахит, яшму, гранит и др.).

Искусственный мрамор по твердости легко сравним с натуральным камнем, однако он очень прост в обработке по сравнению с аналогом, а также может принимать любые формы. К преимуществам данного материала относятся:

- эффективная имитация камня по свойствам;
- высокая скорость изготовления;

- возможность придания нужной формы;
- разнообразная цветовая гамма исполнения;
- гладкая глянцевая или матовая монолитная поверхность без пор и трещин;
- пожаробезопасность, негорючесть, нетоксичность; экологичность;
- возможность изготовления рельефных и фактурных поверхностей изделий;
- возможность ремонта и восстановления;
- высокие показатели по влаго- и светостойкости;
- большая механическая прочность;
- высокая стойкость к истиранию, к бытовым загрязнителям, моющим средствам, к химически агрессивным веществам и растворителям.

Данный материал имеет низкую теплопроводность, что позволяет его использовать в качестве дополнительного утепления фасадов зданий и сооружений. Он открывает широкие возможности для творчества благодаря заданным свойствам, размерам, форме и цветовому решению в отличие от натурального мрамора, в котором все определяет природа.

Искусственный мрамор бывает белый, цветной однотонный, многоцветный с текстурой (с прожилками и пятнами) и орнаментный.

В состав искусственного мрамора входят следующие компоненты, которые достаточно подробно освещены в п. 7:

- вяжущее вещество;
- заполнители;
- красящие составы или пигменты;
- вода;
- добавки;
- вспомогательные материалы.

В качестве вяжущего вещества используют гипс, известь, магниезиальные вяжущие, серый и белый портландцемент, о которых подробно было рассмотрено выше. При этом серый цемент применяют для темных колеров искусственного мрамора (черного, красного, зеленого), а для мрамора светлых тонов используют белый портландцемент с белизной 70–80 %.

Заполнители (предварительно просеянный песок очень мелкой фракции и чистый, мелкая галька, щебень, мраморная крошка и т.п.) в основном

используют для приготовления бетонной смеси. Пигменты и воду применяют те же самые, что в технологии сграффито и декоративной штукатурки. Для модифицирования вяжущих веществ используют различные добавки. Вспомогательными материалами могут являться: клей, мыло, воск, бензин, скипидар, тальк, шлифовальные и полировочные абразивные материалы и инструменты.

Подготовка поверхности под облицовку искусственным мрамором аналогична требованиям при нанесении декоративных штукатурок, которые подробно описаны в п. 7.4.

Искусственный мрамор выполняют по трафарету, в свободной композиции или орнаментом. Все его виды имеют отличный друг от друга набор и состав компонентов, а соответственно и технику изготовления.

Приготовление мрамора состоит из следующих процессов: подготовка грунта, промаячивание поверхности и установление маяков, заготовка сухого колера и цветных растворов, накладка раствора на поверхность и обработка поверхности (шлифовка, лощение и полировка).

В зависимости от метода обработки поверхности существует несколько видов искусственного мрамора:

- 1) оселковый (рис. 9.2, а);
- 2) утюжный (рис. 9.2, б);
- 3) литьевой (рис. 9.2, в).

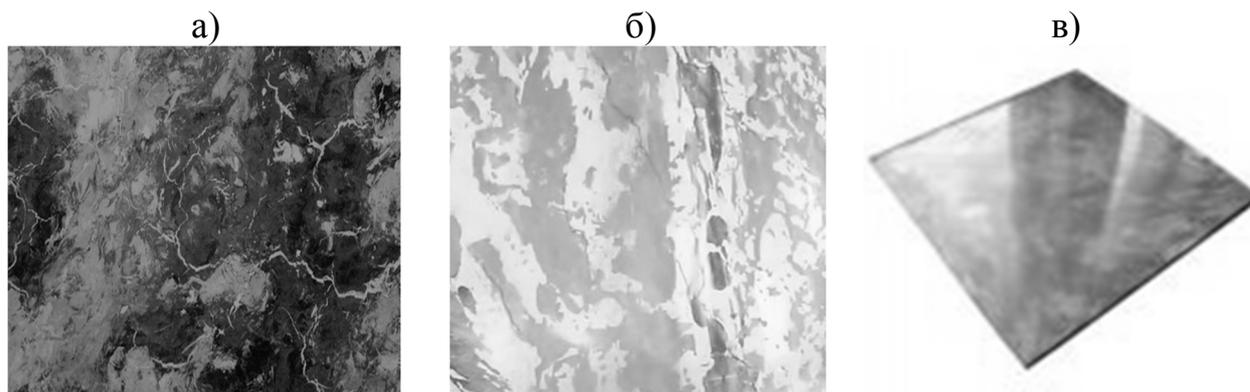


Рис. 9.2. Виды искусственного мрамора: а – оселковый; б – утюжный; в – литьевой

## 9.2. Оселковый мрамор

Оселковый мрамор появился изначально в Европе, из которой данный вид отделки пришел в Россию, и назывался он *скальола*. Его название проис-

ходит от *scaglia* (итал., чешуя) – это название селенита, который применяли в качестве заполнителя в штукатурной смеси.

**Оселковый мрамор** представляет собой отделочный материал на основе окрашенного вяжущего теста, доведенного до зеркального глянца. Название происходит от слова *оселок* (рис. 9.3) – абразивный шлифовальный камень, которым производят шлифовку и полировку поверхности до зеркального блеска.



Рис. 9.3. Оселок

Оселковый мрамор изготавливают из гипса, магниезиальных вяжущих веществ и портландцемента.

Оселковый мрамор делают:

- по характеру рисунка: цветной (однотонный), многоцветный, мелкобрекчиевидный, разнотонный и многоцветный, орнаментный;
- по технике составления раствора: насыпной, отдельный, обычный штукатурный;
- по способу нанесения на поверхность: щитовой, лопаточный, упрощенно-технологический, по шаблонам для орнаментального рисунка, прорезной для сложной инкрустации, штукатурный.

Оселковый мрамор выполняют следующими способами: насыпным и методом под лопатку, которые рассмотрим ниже на примере использования гипса в качестве вяжущего вещества.

### **9.2.1. Насыпной способ**

Окрашенный в сухом виде гипс наносят на поверхность стола или верстака горизонтальными чередующимися слоями разных колеров: сначала цвета фона, затем цвета прожилок, далее переходного цвета и повторно в таком же порядке (рис. 9.4, а). Толщина слоев 0,5–5 см в зависимости от рисунка.

ка текстуры мрамора. Расположение слоев и толщина их не должны носить закономерного характера.

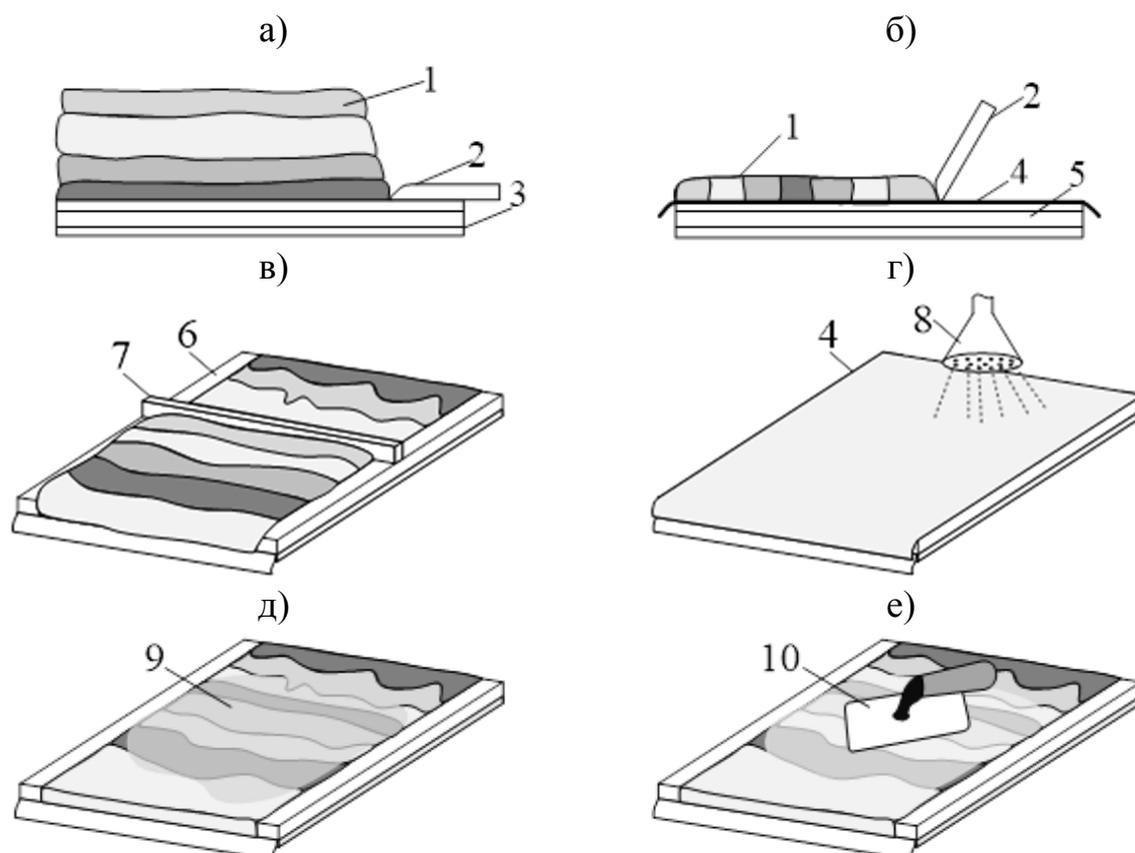


Рис. 9.4. Подготовка мраморных слоев при изготовлении оселкового мрамора насыпным способом: а - расположение цветных слоев на столе (верстаке); б - расположение цветных слоев на щите; в - выравнивание цветных слоев; г - насыщение слоев клеевым раствором; д - покрытие сухим гипсом; е - удаление гипсового раствора и выравнивание поверхности; 1 - цветные слои; 2 - совок; 3 - стол; 4 - мешковина; 5 - щит; 6 - бруски; 7 - рейка; 8 - клеевой раствор; 9 - сухой гипс; 10 - кельма

На мокрую поверхность стола или верстака устанавливают деревянный щит, который накрывают пропитанной клеевым раствором мешковиной, при этом ее края должны несколько свисать. Мешковина способствует лучшему отделению тестообразной массы от щита.

С помощью совка переносят подготовленные гипсовые слои на мешковину (рис. 9.4, б). Высота уложенных слоев должна быть вдвое больше запланированной толщины мрамора. После укладки проводят выравнивание поверхности по брускам б с помощью рейки 7 (рис. 9.4, в).

Выровненную поверхность накрывают мешковиной и пропитывают клеевым раствором (рис. 9.4, г). Пропитку необходимо проводить до насыщения и появления сверх смеси клеевого раствора. Затем мешковину снима-

ют, а излишки клея удаляют с помощью сухого гипса: на поверхность наносят сухой гипс (рис. 9.4, д), и полученную сметанообразную массу удаляют кельмой (рис. 9.4, е).

На подготовленную поверхность наносят жидкий гипсовый раствор и переносят тестообразную смесь с щита (рис. 9.5, а). После этого снимают мешковину и приступают к уплотнению гипсовой массы. Если на поверхности образуются вздутия, то их удаляют, делая проколы.

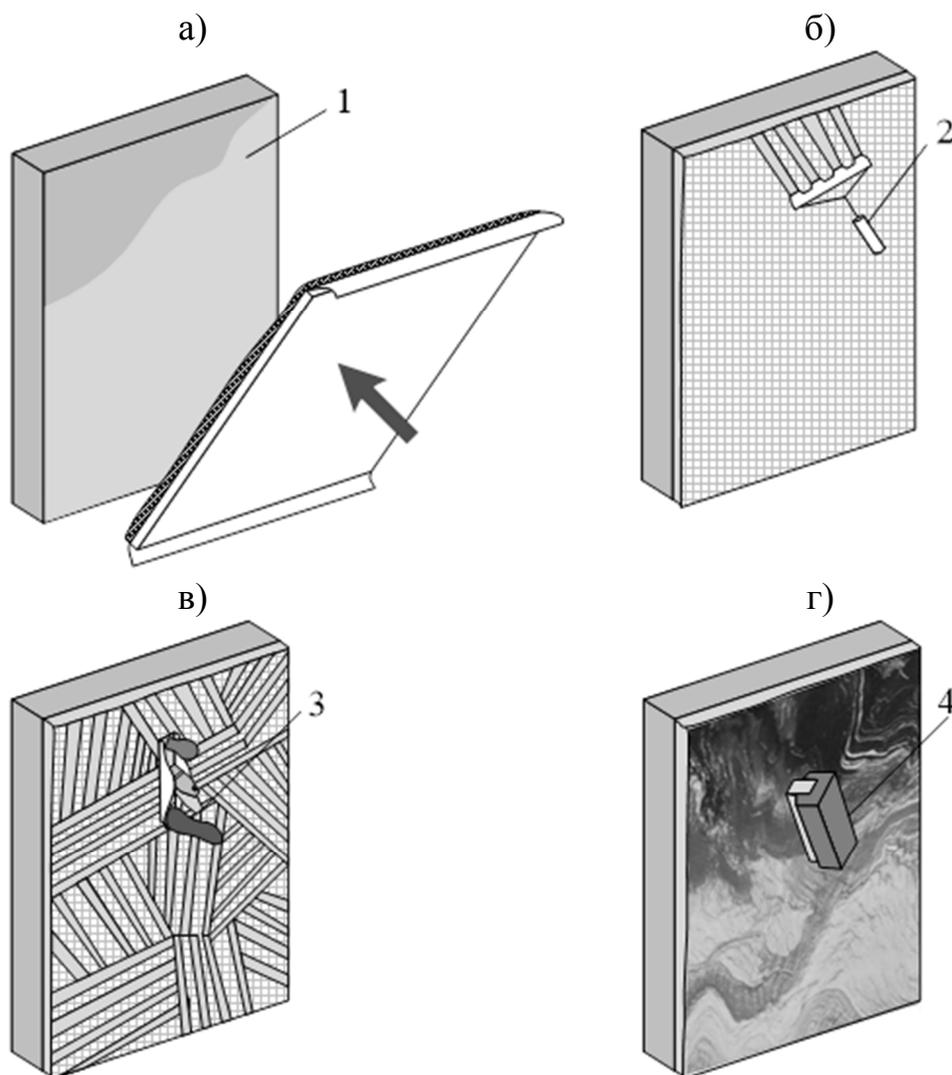


Рис. 9.5. Перенос оселкового мрамора на поверхность и его обработка:  
а – перенос гипсовой массы с щита на поверхность; б – грубая острожка;  
в – обработка шерхебелем и цинубелем; г – полировка оселком;  
1 – гипсовая обмазка; 2 – царапка; 3 – шерхебель; 4 – оселок

Следующим этапом является обнажение рисунка с помощью острожки<sup>1</sup>, шлифовки и полировки. После схватывания наложенной на поверхность

<sup>1</sup> обработка поверхности путём последовательного снятия тонких слоев, т.е. вскрытие рисунка (текстуры).

массы производят первоначально грубое вскрытие рисунка методом острожки с помощью царпки (рис. 9.5, б). Спустя примерно 1,5–2 ч приступают к обработке поверхности (рис. 9.5, в) шерхебелем<sup>1</sup> (рис. 9.6, а).



Рис. 9.6. Инструменты для шлифовки: а – шерхебель; б – цинубель

После окончательного затвердевания поверхности производят более чистую острожку с помощью цинубеля<sup>2</sup> (рис. 9.6, б). Труднодоступные места обрабатывают стамесками.

При получении необходимой поверхности ее двукратно шлифуют пемзой для достижения матовой фактуры с удалением следов острожки и царапин. В некоторых дефектных местах производят шпатлевание всей поверхности основным цветом фона, что помогает закрыть поры на ней.

Отшлифованную поверхность сушат в течение 2–3 сут в естественных условиях и приступают к ее полировке вначале крупнозернистыми оселками (рис. 9.5, г). Зеркальной поверхности добиваются применением более мелко зернистых оселков.

Для окончательного закупоривания пор мрамора и предотвращения попадания влаги и загрязнения проводят лощение. Для этого поверхность мрамора покрывают воском, разведенным в скипидаре или бензине (1:1 или 2:1), а затем полируют фланелью.

### 9.2.2. Способ под лопатку

Для имитации естественного мрамора тонкого рисунка с частыми и тонкими прожилками и с превалирующим основным тоном используют лопаточный метод, который отличается от насыпного только процессом приготовления гипсового теста и наложением его на обрабатываемую поверхность.

<sup>1</sup> узкий рубанок с полукруглым резцом для глубокого строгания.

<sup>2</sup> инструмент, который имеет нож с зазубренным лезвием для плоского строгания.

Для изготовления оселкового мрамора лопаточным способом готовят цветные гипсовые растворы, замешивая каждый цвет отдельно на клеевом растворе (рис. 9.7, а) и выкладывая лопаткой на щит (рис. 9.7, б). Уложенные тестообразные слои накрывают мешковиной и проливают клеевым раствором. Затем с помощью лопатки накидывают гипсовые растворы плотно сложенными полосками непосредственно на подготовленную поверхность.

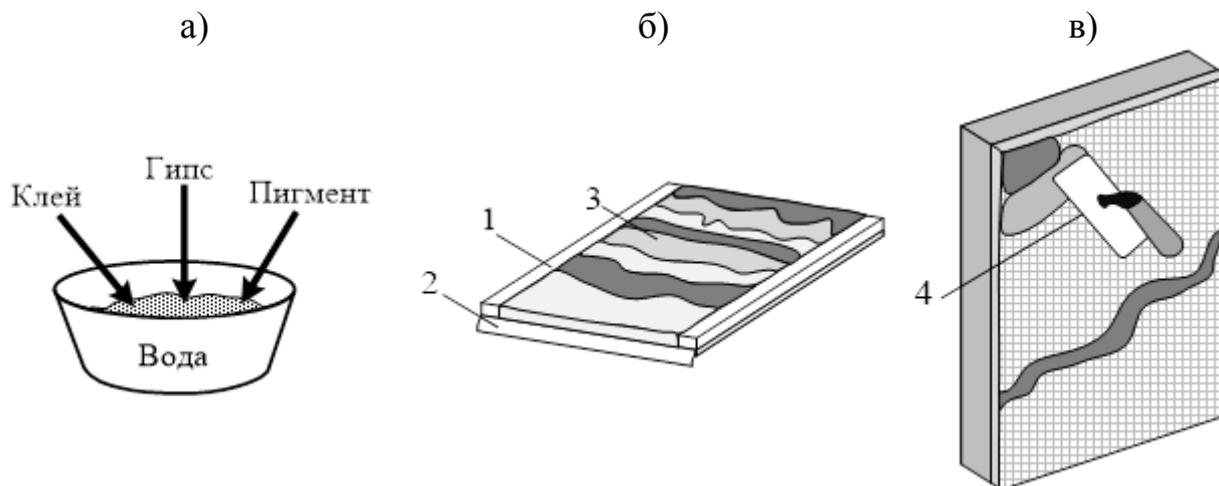


Рис. 9.7. Приготовление (а), подготовка (б) и нанесение (в) гипсового теста в лопаточном способе: 1 – щит; 2 – мешковина; 3 – цветные слои; 4 – кельма

От основного гипсового раствора, заготовленного для прожилок из слоев разноцветного теста, отделяют лопаткой продолговатые куски (3×15 см) и укладывают ребром на стену, располагая слои прожилок перпендикулярно к покрываемой поверхности (рис. 9.7, в). Куски прожилочной массы разбрасывают по поверхности, а между ними укладывают массу основного колера.

Дальнейшая обработка аналогична насыпному способу изготовления оселкового мрамора (рис. 9.5).

### 9.3. Утюжный мрамор

**Утюжный мрамор** – это один из видов высококачественной известковой штукатурки, сырую поверхность которой после покрытия эмульсией и нанесения требуемого рисунка доводят до зеркального блеска специальными горячими утюгами.

Текстура утюжного мрамора имеет вид поверхности, в виде тонкой пленки, получаемой путем разрисовки цветными известково-мыльными эмульсиями по гладкой хорошо подготовленной поверхности штукатурки.

Для приготовления эмульсии делают следующий состав на основе мыльного раствора и известкового молока в соотношении 1:3. Предварительно варят мыльный раствор из расчета 80–100 г мыла на 1 л воды. К 1 л полученного мыльного раствора добавляют 3–4 л известкового молока и тщательно перемешивают.

На подготовленную поверхность наносят слой эмульсии (рис. 9.8, а), создающий основной цвет. После этого основание проторцовывают и обрабатывают флейцем. Затем приступают к нанесению цветной эмульсией прожилок и других элементов рисунка мрамора с помощью тонкой кисти (рис. 9.8, б). В качестве красящего материала применяют ту же эмульсию, смешанную с пигментами.

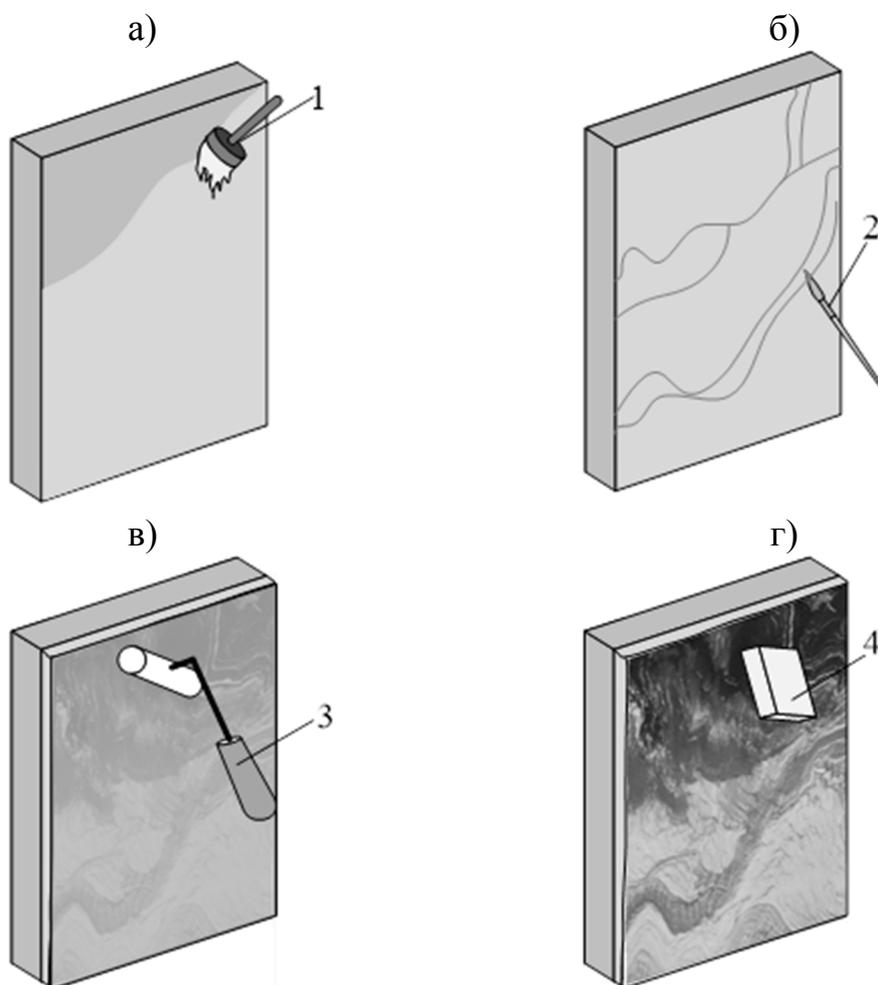


Рис. 9.8. Изготовление утюжного мрамора: а – покрытие эмульсией; б – нанесение рисунка; в – обработка горячими утюгами; г – полировка; 1 – широкая кисть; 2 – тонкая кисть; 3 – утюжок; 4 – губка

После нанесения рисунка производят утюжку поверхности специальными горячими утюжками (рис. 9.8, в). Для этого применяют либо обычные

утюжки, которые нагревают от источника тепла до 100–175 °С, либо электрические, нагретые до 200 °С.

Первое заглаживание поверхности утюгом выполняют при температуре 100 °С. Второе заглаживание производят уже при температуре 200 °С с постепенным увеличением силы давления утюга. И заканчивают утюжку (третий раз) мрамора при температуре снова 100 °С.

Если температура не доведена до указанных, то происходит прилипание массы к поверхности утюжка. Если температура будет превышена, то возможно растрескивание поверхности. В местах отслоения необходимо их шпаклевание.

После окончательного отвердевания поверхности утюжного мрамора его основание подвергают обработке восковой пастой и полировке (рис. 9.8, г). Для этого всю поверхность протирают губкой, смоченной в скипидаре, а затем покрывают раствором воска в скипидаре. Затвердевшую восковую пасту с силой натирают при помощи тампона из суконной или холщовой ткани. Для получения глянцевой поверхности наводят блеск фетром, фланелью или замшей.

#### 9.4. Литьевого мрамор

Наибольшей популярностью сегодня пользуется литьевого мрамор, обладающий свойствами природного мрамора, но искусственно произведенный методом литья.

*Литьевого мрамор* – это искусственный материал, представляющий собой бетон или полимербетон с рисунком, имитирующим натуральный камень.

Для приготовления бетонной смеси (рис. 9.9) используют цемент высоких марок и мелкофракционный чистый песок. Данные компоненты тщательно перемешивают и после этого добавляют наполнитель (мелкую гальку, щебень, мраморную крошку и т.п.).

Цвет будущему изделию придает пигмент. На этапе добавления в сухую смесь красящего состава необходимо небольшое перемешивание, которое приводит к неоднородности и разводам, что только улучшает качество материала, поскольку именно они создают неповторимый «мраморный» эффект.

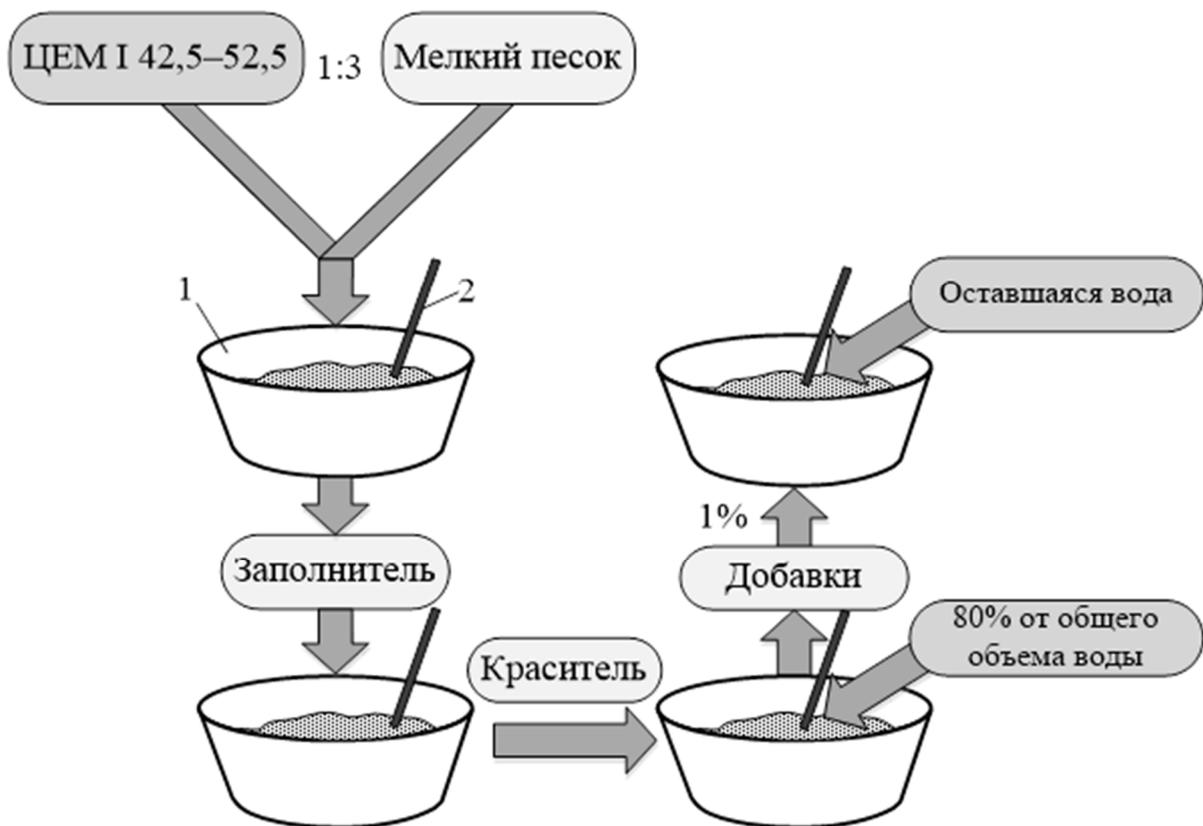


Рис. 9.9. Приготовление бетонного раствора для литьевого мрамора

Воду берут из расчета 1:2 к сухой смеси, но вливают ее не сразу. Сначала добавляют около 80 % всей жидкости и затем тщательно перемешивают. После этого в раствор добавляют пластификатор (примерно 1 % от всего объема смеси) и повторно перемешивают. Затем массу оставляют на несколько минут, чтобы раствор немного загустел, и только после этого добавляют оставшуюся воду.

Для придания окончательного облика будущим «бетонно-мраморным» изделиям должны быть заранее подготовлены формы (рис. 9.10), в которые заливают подготовленный бетонный раствор. Подготовленную матрицу необходимо обработать специальными смазками для легкого извлечения готового изделия из них. Обработанную форму высушивают в течение 5 мин.

Готовую бетонную смесь переливают в обработанную форму и отправляют на уплотнение с помощью вибростола на несколько часов, чтобы минимизировать количество пузырьков воздуха и пористость готового изделия.

Через 12 ч после заливки готовый мрамор извлекают из формы и при необходимости шлифуют, обрезают или придают нужную форму. После обработки изделие очищают от пыли.



Рис. 9.10. Форма и изделие на основе литьевого мрамора

Если готовый материал по каким-то причинам должен обладать особой прочностью, то после заливки форм можно погрузить в раствор металлическую сетку, которая станет для искусственного мрамора своеобразным армирующим каркасом.

После полного застывания и высыхания готовые детали можно использовать сразу или подвергнуть шлифовке и полировке специальным инструментом, чтобы придать им блеск и красоту мраморного «прототипа».

### 9.5. Вопросы для самоконтроля

1. Что такое искусственный мрамор?
2. Какие виды искусственного мрамора вы знаете?
3. Назовите достоинства искусственного мрамора.
4. Откуда пошло название оселковый мрамор?
5. Что такое оселковый мрамор?
6. Как называли оселковый мрамор в Европе?
7. Какие способы получения оселкового мрамора вы знаете?
8. Назовите основные этапы изготовления оселкового мрамора.
9. Что такое утюжный мрамор?
10. Назовите основные этапы изготовления утюжного мрамора.
11. Что такое оселок?
12. Чем полируют утюжный мрамор?
13. Что такое литевой мрамор?
14. Каковы основные компоненты для литьевого мрамора?
15. Назовите основные этапы изготовления литьевого мрамора.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов / Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
2. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства) / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
3. Кузьменков, М.И. Вяжущие вещества и технология производства изделий на их основе: учеб. пособие / М.И. Кузьменков, Т.С. Куницкая. – Минск: БГТУ, 2003. – 218 с.
4. Смиренская, В.Н. Химическая технология вяжущих материалов: учеб. пособие / В.Н. Смиренская, С.А. Антипина, С.Н. Соколова; Томский политехнический ун-т. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2009. – 200 с.
5. Башкатов, Н. Н. Минеральные воздушные вяжущие вещества: учеб. пособие / Н. Н. Башкатов. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2018. – 148 с.
6. Андреева, Н.А. Химия цемента и вяжущих веществ: учеб. пособие / Н. А. Андреева; СПбГАСУ. – Санкт-Петербург, 2011. – 67 с.
7. Косенко, Н.Ф. Химическая технология вяжущих материалов и изделий на их основе. Воздушные вяжущие вещества: учеб. пособие / Н.Ф. Косенко; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2015. – 219 с.
8. Зимакова, Г.А. Гипсовые вяжущие, материалы и изделия на их основе: учебно-метод. пособие для самостоятельных и лабораторных работ / Г.А. Зимакова, Е.А. Каспер, О.С. Бочкарева; ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ. – Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, 2014. – 89 с.
9. ГОСТ 125–79. Вяжущие гипсовые. Технические условия. – Введ. 1980–06–30. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 7 с.
10. Ветегрове, Х. Улучшение качества гипсового вяжущего на основе технологии SmartGyp Process компании Claudius Peters / Х. Ветегрове // Строительные материалы. – 2012. – № 7. – С. 37–40.
11. Бройдо, Д.М. Руководство по гипсовой формовке художественной скульптуры / Д.М. Бройдо. – М.: Искусство, 1949. – 396 с.

12. Сенаторов, Н.Я. Лепные работы: учебник для ср. проф. училищ / Н.Я. Сенаторов, А.П. Коршунова, Н.Е. Муштаева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1982. – 224 с.
13. ГОСТ 9179–77. Известь строительная. Технические условия. – Введ. 1979–01–01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 6 с.
14. Гидравлические вяжущие вещества: учеб. пособие / [И.Н. Кузнецова и др.] – Омск: СибАДИ, 2012. – 74 с.
15. Антипина, С.А. Основы технологии строительных материалов на основе вяжущих веществ: учеб. пособие / С.А. Антипина, Н.А. Митина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 128 с.
16. Акимова, Т.Н. Минеральные вяжущие вещества: учеб. пособие / Т.Н. Акимова. – МАДИ (ГТУ). – М., 2007. – 98 с.
17. ГОСТ 1216–87. Порошки магнезитовые каустические. Технические условия. – Введ. 1988–07–01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1988. – 10 с.
18. Мечай, А.А. Гидролиз и твердение минеральных вяжущих веществ: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1–48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализаций 1–48 01 01 07 «Технология строительных материалов на основе вяжущих веществ», 1–48 01 01 14 «Химическая технология вяжущих материалов» / А.А. Мечай, О.Е. Хотянович, А.А. Сакович. – Минск: БГТУ, 2012. – 72 с.
19. Классен, В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие / В.К. Классен. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 308 с.
20. Шमितько, Е.И. Химия цемента и вяжущих материалов: учеб. пособие / Е.И. Шमितько, А.В. Крылова, В.В. Шаталова. – Воронеж: Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, 2005. – 164 с.
21. Бергер, Э. Техника фрески и техника сграффито / Э. Бергер. – пер. с нем. П. З.; под ред. Н. М. Чернышева и В. Д. Загоскиной. – М.: Изд-во «Художественное издательское акционерное общество АХР», 1930. – 189 с.
22. Шепелев, А.М. Декоративно-художественные работы / А.М. Шепелев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. – 175 с.
23. ГОСТ 31108–2016. Цементы общестроительные. Технические условия. – Введ. 2017–03–01. – М.: Стакдартимформ, 2016. – 12 с.

24. Зубехин, А.П. Белый портландцемент: монография / А.П. Зубехин, С.П. Голованова, П.В. Кирсанов; Юж.-рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2008. – 263 с.
25. ГОСТ 965–89. Портландцементы белые. Технические условия. – Введ. 1983–01–01. – М.: изд-во стандартов, 1989. – 7 с.
26. ГОСТ 15825–80. Портландцемент цветной. Технические условия. – Введ. 1990–01–01. – М.: изд-во стандартов, 1981. – 26 с.
27. Долгих, А. И. Отделочные работы / А. И. Долгих. – М.: Научная книга, 2013. – 430 с.
28. Комаров, А.А. Технология материалов стенописи / А.А. Комаров. – М.: Изд-во «Изобразительное искусство», 1989. – 210 с.
29. Черноус, Г.Г. Технология штукатурных работ / Г.Г. Черноус. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 240 с.
30. Завражин, Н.Н. Штукатурные работы высокой сложности / Н. Н. Завражин. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 192 с.
31. Виноградова, Л.А. Основы технологии железобетонных изделий: учеб. пособие / Л.А. Виноградова, В.К. Катаргина, И.А. Копосов; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2016. – 227 с.
32. ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – Введ. 1995–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 42 с.
33. ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия. – Введ. 2015–04–01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 8 с.
34. ГОСТ 23732–2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – Введ. 2012–10–01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.
35. ГОСТ 24211–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические требования. – Введ. 2011–01–01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 12 с.
36. ГОСТ 5781–82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – Введ. 1983–07–015. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 11 с.

37. ГОСТ Р 52544–2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – Введ. 2007–01–01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 20 с.

38. ГОСТ 27772–88. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. – Введ. 1989–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 17 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Edel-структура, 126  
Rillen-структура, 126  
Roll-структура, 126, 127
- Автоклавные вяжущие, 11  
Алебастр, 14  
Алит, 103  
Алюмоферритная фаза, 104  
Ангидрит, 12, 13, 14, 19, 20, 25, 28, 31, 39  
Ангидритовый цемент, 25  
Арматура, 155
- Белит, 103  
*Белый портландцемент*, 111  
Березовый щелок, 42  
Бетон, 149  
Бетонная смесь, 149  
Бишофит, 81, 82  
Брусит, 61  
Бучарда, 135
- Венецианская штукатурка, 125  
Вискозиметр Сутгарда, 29  
Водопотребность, 29, 76, 108  
Водостойкость, 29  
Воздушные вяжущие вещества, 11  
Высокообжиговые гипсовые вяжущие, 21, 24  
Высокообжиговые гипсовые вяжущие вещества, 14  
Высокообжиговый гипс, 25  
Вяжущая система, 8  
Вяжущее вещество, 8
- Гашеная известь, 63, 72, 73, 76  
Гидравлическая известь, 64, 79, 80  
Гидравлические вяжущие вещества, 11  
Гидравлический модуль, 79  
Гидратная известь, 63  
Гидратное твердение, 72  
Гидросиликатное твердение, 74  
Гипсовые бетоны, 150  
Гипсовые вяжущие вещества, 12, 13, 28  
Грунт, 86, 87, 89, 94, 117, 118
- Двуводный гипс, 12, 19, 21, 25  
Декоративная штукатурка, 116, 127  
Доломит, 12, 61, 62
- Жесткость бетонной смеси, 158  
Жидкость затворения, 8  
Жирная известь, 64
- Заполнитель, 153  
Затворение, 8  
Зубила, 135
- Известковое молоко, 63  
Известковое тесто, 63, 64, 68, 73, 76, 77, 78  
Известковые вяжущие вещества, 60  
Известняк, 60, 62  
Искусственный мрамор, 163  
Истинное сграффито, 88
- Кальцит, 60

Каменная штукатурка, 124  
Карбонизация, 73  
Каустический доломит, 80, 82, 83  
Каустический магнезит, 80, 82  
Комовая негашеная известь, 62  
Корректирующие добавки, 99  
Кристаллические известняки, 60

Литьевой мрамор, 172

Магнезит, 61  
Медицинский гипс, 14  
Мел, 60, 62  
Мергель, 61  
Механическая прочность, 30  
Модель, 35  
Молотая карбонатная известь, 64  
Молотая негашеная известь, 62, 77  
Мрамор, 60  
Мягкие модели, 35

Набрызг, 117  
Накрывка, 117, 130  
Низкообжиговые гипсовые вяжущие вещества, 14  
Новообразования, 8  
Нормальная густота, 29, 32, 33, 77, 108

Обрызг, 117, 118, 130  
Объемная штукатурка, 126  
Оплеск, 39, 41, 43, 45, 46  
Опрыск, 117  
Оселковый мрамор, 166  
Оселок, 166

Пигменты, 90, 91  
Плотность, 28, 33, 69, 76  
Подвижность, 157  
Ползучесть, 110  
Полимерцементные бетоны, 150  
Получистые формы, 57  
Портландит, 69  
Портландцемент, 14, 22, 99  
Природный ангидрит, 13  
Природный гипсовый камень, 12  
Простые черновые формы, 40  
Простые чистые формы, 47  
Прочность, 31, 77  
Пушонка, 63, 68, 70, 71

Раковины, 36, 38, 42, 44, 45, 46, 47, 49, 50  
Рапный магнезит, 80

Сграффито, 86, 90, 177  
Силикатная штукатурка, 120  
Силикатные бетоны, 150  
Силиконовая штукатурка, 120  
Сложные черновые формы, 42  
Сложные чистые формы, 50  
Смешанное сграффито, 88  
Специальные бетоны, 151  
Сроки схватывания, 22, 30, 32, 33  
Стекловолокно, 156  
Стеклофаза, 104  
Строительная известь, 62  
Строительный гипс, 14, 21, 22  
Структурная штукатурка, 124  
Супергипс, 32

Твердые модели, 35, 36, 38, 47  
Теория А.А. Байкова, 26  
Теория В. Михаэлиса, 26  
Теория П.А. Ребиндера и Е.Е. Сегаловой, 27  
Термотвердеющие вяжущие, 11  
Терразитовая штукатурка, 123  
Тонкость помола, 23, 29, 32, 33, 75, 76, 83, 108, 113  
Тощая известь, 64  
Графитное сграффито, 88

Удельная поверхность, 28  
Удобоукладываемость, 157  
Усадка, 31  
Усенок, 45, 46, 48, 52, 54, 55, 58  
Утюжный мрамор, 170

Фактурная штукатурка, 125  
Фибра, 156  
Формовочный гипс, 22

Цвет, 13, 28  
Цветная известково-песчаная штукатурка, 123  
Цветной портландцемент, 113  
Цементное тесто, 8  
Цементные бетоны, 149  
Цементный камень, 8  
Циклевание, 132  
Циклевка, 132  
Цинубель, 169

Черновая форма, 37, 39  
Чистая форма, 37, 47

Шерхебель, 169  
Шлакощелочные бетоны, 150

Эстрих-гипс, 20, 24, 25, 33  
Эстрих–гипс, 25

Учебное издание

**Виноградова Любовь Алексеевна**

**Художественное материаловедение вяжущих веществ и технология изготовления декоративно-отделочных материалов на их основе**

Учебное пособие

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 28.11.2018. Формат 60×84 1/16. Бумага писчая.  
Усл. печ. л. 10,00. Уч.-изд. л. 11,09. Тираж 25 экз. Заказ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный  
химико–технологический университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании  
редакционно-издательского центра ФГБОУ ВО «ИГХТУ»

153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, 7