СТРОИТЕЛЬСТВО

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Издательство МИСИ – МГСУ

ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Учебное пособие

УДК 691.5
ББК 38.32
В99

Авторы:
О.А. Ларсен, Н.А. Гальцева, О.В. Александрова, В.Г. Соловьев

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент *М.Б. Каддо*,
доцент кафедры строительных материалов НИУ МГСУ;
кандидат технических наук, старший научный сотрудник *И.В. Бессонов*,
руководитель испытательного центра «Стройфизика-тест» ФГБУ НИИ СФ РААСН

В99 **Вяжущие вещества** : учебное пособие / [О.А. Ларсен и др.] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — 2-е изд. — Москва : Издательство МИСИ–МГСУ, 2018. — 112 с.
ISBN 978-5-7264-1861-2

Дается характеристика воздушных и гидравлических вяжущих веществ, приводятся сведения об их классификации, применяемом сырье и особенностях технологических схем изготовления различных вяжущих материалов. Освещается сущность процессов, протекающих при схватывании и твердении вяжущих материалов, сообщается о присущих им физико-механических свойствах и областях их применения — преимущественно в производстве бетонных и железобетонных изделий.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство по профилю «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций».

УДК 691.5
ББК 38.32

ISBN 978-5-7264-1861-2

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ ... 5

2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ ... 7

3. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ... 9

3.1. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ... 9

3.1.1. Общие сведения ... 9

3.1.2. Строительный гипс ... 13

3.1.3. Высокопрочный гипс ... 18

3.1.4. Схватывание и твердение полуводного гипса ... 21

3.1.5. Основные свойства строительного и высокопрочного гипса ... 22

3.1.6. Ангидритовые вяжущие ... 24

3.1.7. Смешанные гипсовые вяжущие вещества ... 27

3.2. МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ... 28

3.3. ИЗВЕСТЬ СТРОИТЕЛЬНАЯ ВОЗДУШНАЯ ... 31

3.3.1. Общие сведения ... 31

3.3.2. Производство воздушной извести ... 34

3.3.3. Гашение извести ... 53

3.3.4. Твердение воздушной извести ... 64

3.3.5. Свойства воздушной извести и области ее применения ... 68

3.3.6. Карбонатная известь ... 70

4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ... 73

4.1. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ИЗВЕСТЬ И РОМАНЦЕМЕНТ ... 73

4.2. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ... 76

4.2.1. Состав портландцементного клинкера ... 76

4.2.2. Производство портландцемента ... 80

4.2.3. Взаимодействие портландцемента с водой ... 88

4.2.4. Структура цементного теста и камня 91
4.2.5. Строительно-технические свойства портландцемента 94
4.2.6. Коррозия портландцементного камня 98
4.2.7. Разновидности портландцемента 101
4.2.8. Активные минеральные добавки и пуццолановые цементы 103
4.2.9. Шлаки и шлаковые цементы 107
4.2.10. Цементы с микронаполнителями 112
4.3. ТОНКОМОЛОТЫЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ЦЕМЕНТЫ И ВЯЖУЩИЕ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ 113
4.4. ГЛИНОЗЕМИСТЫЙ ЦЕМЕНТ 114

Библиографический список 118

1. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Строительными неорганическими вяжущими веществами называют порошкообразные материалы, образующие при смешении с водой пластичное удобообрабатываемое тесто, постепенно переходящее в камневидное состояние в результате физико-химических реакций, протекающих при взаимодействии вяжущего вещества и воды.

В строительной практике неорганические (минеральные) вяжущие вещества находят применение в виде смеси с водой, или с водой и заполнителями — песком, гравием или щебнем.

Номенклатура неорганических строительных вяжущих веществ разнообразна. В зависимости от свойств, состава, вида применяемого сырья, способа производства и технологических параметров они подразделяются на гидравлические, воздушные, кислотостойкие и вяжущие автоклавного твердения.

Воздушные вяжущие, к которым относятся воздушная известь, гипсовые и магнезиальные вяжущие способны твердеть и сохранять прочность только на воздухе.

Гидравлические вяжущие способны к твердению не только на воздухе, но и в воде, при этом длительно сохраняют свою прочность как в воздушных, так и водных условиях. В эту обширную группу входят гидравлическая известь, романцемент, портландцементы без добавок, портландцементы с минеральными добавками, пуццолановые цементы, шлаковые цементы, сульфатостойкий портландцемент с добавками и без добавок, композиционный портландцемент, глиноземистый цемент, расширяющиеся цементы.

Вяжущие вещества автоклавного твердения способны к интенсивному набору прочности только в гидротермальных условиях (в автоклавах) при давлении насыщенного водяного пара 0,9…1,6 МПа, в течение продолжительного времени (6…10 ч). К их числу можно отнести известково-кремнеземистые смеси (известково-кварцевые, известково-шлаковые и т.д.).

Кислотоупорные вяжущие вещества представляют собой смесь из тонкомолотого кварцевого песка, кремнефтористого натрия и водного раствора силиката натрия (калия). После начального твердения в воздушных условиях эти вяжущие могут длительно сохранять свою прочность при воздействии агрессивных органических и неорганических кислот.

2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Основным сырьем для производства минеральных вяжущих веществ являются горные породы и вторичное сырье, представляющее собой промышленные отходы.

Преимущественно используются следующие горные породы:

– гипсовые — гипсовый камень, богатый двуводным сернокислым кальцием ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), или ангидрид, состоящий преимущественно из безводного сернокислого кальция ($CaSO_4$);

– карбонатные — известняк или другие горные породы, например мел, содержащие преимущественно углекислый кальций ($CaCO_3$); магнезит, представленный в основном углекислым магнием ($MgCO_3$), и доломит — комплексная соль $CaCO_3 \cdot MgCO_3$;

– глинистые — глины и мергели, содержащие также в небольшом количестве $CaCO_3$ и $MgCO_3$. К глинистым породам могут быть отнесены и высокоглиноземистые породы — бокситы, содержащие до 70% и более окислов алюминия;

– кремнеземистые — состоящие в основном из окиси кремния (кварцевый песок, диатомит, трепел, трасс и др.).

В качестве вторичного сырья используют доменные и топливные шлаки и золы. Применение отходов промышленности имеет большое экономическое значение.

Кроме перечисленных материалов, для придания цементам тех или иных свойств, или в целях снижения стоимости вяжущего, применяют еще и так называемые добавки к вяжущим, которые по основному назначению подразделяются на:

– активные минеральные (гидравлические), содержащие в большом количестве кремнезем в активной форме. К ним относятся трассы, пемзы, вулканические туфы, пеплы, диатомиты, трепелы, опоки, горелые породы, кислые и основные доменные шлаки, глиниты, цемянки;

– наполнители инертные — пески кварцевые и другие, песчаники, известняки, доломиты, природная доломитовая мука, природный пылевидный кварц, лесс, топливная зола, доменная мука;

– наполнители кислотостойкие — тонкоизмельченные андезит, бештаунит, гранит, плавленые диабаз и базальт, фарфор, природный пылевидный кварц, кварцевые пески;

– наполнители жароупорные — тонкоизмельченный шамот, кварцевый песок, зола ТЭЦ, гранулированный шлак, хромит, магнезит, пемза;

– вещества, ускоряющие твердение, применяемые для получения быстротвердеющих бетонов и растворов, т.е. для повышения их прочности в ранние сроки твердения или при производстве работ в зимнее время; такими добавками являются хлористый кальций, хлористый натрий и соляная кислота;

– вещества, замедляющие схватывание, используемые в том случае, когда скорость схватывания бетонной или растворной смеси не обеспечивает такую ее удобоукладываемость, которая необходима для производства работ; для портландцемента обычной добавкой такого рода является гипс; аналогичное действие оказывают сернокислое окисное железо и слабый раствор серной кислоты; для гипсовых вяжущих веществ применяют кератиновый замедлитель, животный клей, микропенообразователь БС;

– поверхностно-активные вещества, подразделяемые на пластифицирующие, гидрофобно-пластифицирующие и микропенообразующие.

3. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

3.1. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

3.1.1. Общие сведения

Гипсовыми вяжущими веществами называют материалы, состоящие из полуводного гипса или ангидрита, получаемые тепловой обработкой сырья с последующим помолом.

По условиям обжига, а также скорости схватывания и твердения гипсовые вяжущие вещества подразделяют на две основные группы:

– низкообжиговые — собственно гипсовые вяжущие, быстро схватывающиеся и быстротвердеющие, состоящие в основном из полуводного сульфата кальция ($CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$); к ним относятся строительный, формовочный, высокопрочный (технический) гипс и гипсовые вяжущие из гипсосодержащих материалов;

– высокообжиговые — медленносхватывающиеся и медленнотвердеющие, состоящие в основном из безводного сульфата кальция $CaSO_4$, к которым относятся ангидритовое вяжущее (ангидритовый цемент) и высокообжиговый гипс, называемый также эстрих-гипсом, гидравлическим или кальцинированным гипсом.

Сырьем для производства гипсовых вяжущих являются природный гипсовый камень ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ангидрит ($CaSO_4$) и гипсосодержащие породы — глиногипс (гажа), землистый гипс, смесь гипса с лессом (ганч (арзык)). В отдельных случаях применяются отходы химической промышленности — фосфогипс, борогипс, гидролизный гипс, фторогипс, хлорогипс, феррогипс и др.

Двуводный гипс — мягкий минерал: твердость его по шкале Мооса равна 2, истинная плотность составляет 2,2…2,4 г/см^3. Состав химически чистого двуводного гипса: CaO — 32,56 %, SO_3 — 46,51 % и H_2O — 20,93 %.

Двуводный гипс часто залегает вместе с ангидритом, который является в большинстве случаев его подстилающим слоем. Под действием грунтовых вод ангидрит переходит в двуводный гипс. Волокнистая разновидность минерала гипса называется селенитом, а зернистая — алебастром.

Ангидрит — плотная порода, состоит преимущественно из безводного сернокислого кальция ($CaSO_4$). Истинная плотность колеблется от 2,9 до 3,1 г/см^3. Твердость — 3,0…3,5 по шкале Мооса; содержит 41,19 % CaO и 58,81 % SO_3.

Гипсосодержащие породы по своей структуре представляют тонкодисперсную механическую смесь или рыхлые, слабосцементированные образования серого, желтоватого или бурого цветов. Свыше 80 % материала представлено частицами размером менее 0,01 мм. Истинная плотность материала около 2 г/см^3, твердость по шкале Мооса менее 1.

На основании многочисленных исследований, проведенных отечественными и зарубежными учеными, возможно существование следующих модификаций водного и безводного сульфата кальция:

1) двуводный сульфат кальция (двуводный гипс) $CaSO_4 \cdot 2H_2O$;

2) α — полуводный сульфат кальция (α — полугидрат или α — $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$);

3) β — полуводный сульфат кальция (β — полугидрат или β — $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$);

4) α — обезвоженный полугидрат α — $CaSO_4$;

5) β — обезвоженный полугидрат β — $CaSO_4$;

6) α — растворимый ангидрит α — $CaSO_4$;

7) β — растворимый ангидрит β — $CaSO_4$;

8) нерастворимый ангидрит (обычно называемый ангидритом) $CaSO_4$.

На рис. 1 приведена схема термических превращений всех описанных в литературе модификаций водного и безводного сульфата кальция.

Образование α- и β- модификаций полуводного гипса зависит от условий термической обработки.

β-полуводный гипс образуется в обычных условиях нагрева двуводного гипса при температуре 100…170 °С при удалении из него воды в виде перегретого пара, вследствие чего обладает мелкокристаллической структурой частиц со значительно развитой поверхностью.

α-полугидрат образуется под давлением в автоклавах или варкой в жидких средах при обработке двуводного гипса насыщенным паром, в воде или в растворах некоторых солей при температурах 97…115 °С. Вода при этом отделяется в капельно-жидком состоянии, а α-полугидрат состоит из крупных кристаллов, имеющих вид прозрачных игл или призм. Поэтому α -полугидрат имеет пониженную водопотребность и большую прочность.

При дальнейшем нагревании до 160…180 °С β-полугидрат, а при 200…210 °С и α -полугидрат теряют гидратную воду и переходят в α-обезвоженный и β-обезвоженный полугидраты без изменения кристаллической структуры.

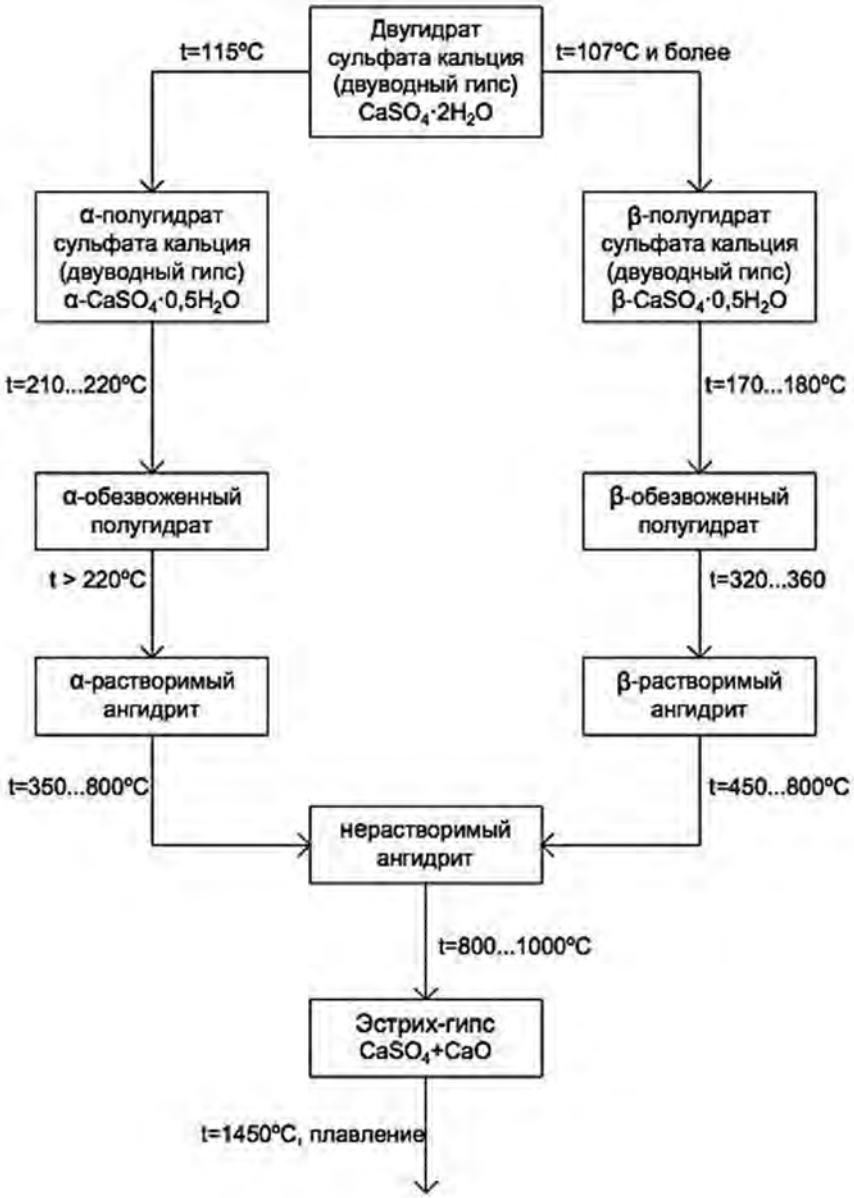

Рис. 1. Схема процессов, протекающих при термической обработке двуводного гипса

Повышение температуры до 220 °С и выше у α-обезвоженного полугидрата, а у β-обезвоженного полугидрата при 320…360 °С приводит к перестраиванию кристаллической решетки и образованию α- и β-растворимых ангидритов, которые обладают большей водопотребностью, быстрым схватыванием и пониженной прочностью. Нагревание до температуры 400…800 °С и выше способствует переходу этих модификаций в нерастворимый ангидрит, который практически нерастворим в воде, не схватывается и не твердеет.

В интервале температур 800…1000 °С нерастворимый ангидрит подвергается частичной диссоциации с выделением CaO, сернистого газа и кислорода по реакции: $2CaSO_4 \rightarrow 2CaO + 2SO_2 + O_2$. Продукт обжига содержит помимо нерастворимого ангидрита небольшое количество оксида кальция (CaO) (2–3 %), присутствие которого придает этому вяжущему свойство схватываться и твердеть. Это вяжущее носит название высокообжигового гипса или эстрих-гипса.

Дальнейшее повышение температуры до 1450 °С приводит к плавлению и разложению материала.

3.1.2. Строительный гипс

Строительным гипсом называется воздушное вяжущее вещество, состоящее преимущественно из $\beta\text{-}CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ и получаемое термической обработкой двуводного гипса с последующим или предшествующим этой обработке измельчением в порошок.

Процесс производства строительного гипса складывается из трех основных операций: дробления гипсового камня, термической его обработки, помола материала в порошок — до термической обработки, во время последней или после нее, что зависит от принятой технологии и применяемого оборудования.

Получение строительного гипса может производиться в варочных котлах, в аппаратах для совмещенного помола и обжига (мельницах), во вращающихся печах и печах кипящего слоя, в аппаратах с обжигом материала во взвешенном состоянии.

Получение гипса в варочных котлах. Производство строительного гипса с применением гипсоварочных котлов начинается с добычи и доставки гипсового сырья в кусках размером 300…500 мм с карьера на завод, где он подвергается двухступенчатому дроблению сначала в щековых дробилках до размера кусков 30…50 мм, а затем в молотковых дробилках до размера частиц 0…15 мм. Далее измельченный гипсовый щебень поступает в шахтную мельницу, в которой процесс сушки и помола производится в одном аппарате.