

## Лекция 13

### 4. Энергоэффективные материалы ограждающих конструкций

#### Строительные неорганические материалы (бетоны, железобетоны)

##### Классификация бетонов

В настоящее время в строительстве используют различные виды бетона. Разобраться в их многообразии помогает классификация бетонов. Бетоны классифицируют по средней плотности, виду вяжущего вещества и назначению.

Многие свойства бетона зависят от его плотности, на величину которой влияют плотность цементного камня, вид заполнителя и структура бетонов.

По плотности бетоны делят на:

- особо легкие - менее  $500 \text{ кг/м}^3$ ;
- легкие -  $500 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
- тяжелые -  $1800 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$ ;
- особо тяжелые с плотностью более  $2500 \text{ кг/м}^3$ .

Особо тяжелые бетоны готовят на тяжелых заполнителях - стальных опилках или стружках (сталебетон), железной руде (лимонитовый и магнетитовый бетоны) или барите (баритовый бетон).

Тяжелые бетоны с плотностью  $2100 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$  получают на плотных заполнителях из горных пород (гранит, известняк, диабаз). Облегченный бетон с плотностью  $1800 \dots 2000 \text{ кг/м}^3$  получают на щебне из горных пород с плотностью  $1600 \dots 1900 \text{ кг/м}^3$

Легкие бетоны изготавливают на пористых заполнителях (керамзит, аглопорит, вспученный шлак, пемза, туф).

К особо легким бетонам относятся ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон), которые получают вспучиванием вяжущего вещества, тонкомолотой добавки и воды с помощью специальных способов, и крупнопористый бетон на легких заполнителях.

Главной составляющей бетона, во многом определяющей его свойства, является вяжущее вещество, по виду которого различают бетоны:

- 1) цементные,
- 2) силикатные,
- 3) гипсовые,
- 4) шлакощелочные,

- 5) полимерцементные,
- б) специальные.

Цементные бетоны приготавливают на различных цементах и наиболее широко применяют в строительстве. Среди них основное место занимают бетоны на цементе (портландцемент) и его разновидностях (около 65% от общего объема производства), успешно используют бетоны на шлакопортландцементе (20...25%) и пуццолановом цементе.

К разновидностям цементных бетонов относятся декоративные бетоны (на белом и цветных цементах), бетоны для самонапряженных конструкций (на напрягающем цементе), бетоны для специальных целей (на глиноземистом и безусадочном цементах).

Силикатные бетоны готовят на основе извести. Для производства изделий в этом случае применяют автоклавный способ твердения.

Гипсовые бетоны готовят на основе гипса. Гипсовые бетоны применяют для внутренних перегородок, подвесных потолков и элементов отделки зданий. Разновидностью этих бетонов являются гипсоцементные - пуццолановые бетоны, обладающие повышенной водостойкостью. Применение - объемные блоки санузлов, конструкции малоэтажных домов.

Шлакощелочные бетоны делают на молотых шлаках, затворенных щелочными растворами. Эти бетоны еще только начинают применяться в строительстве.

Полимербетоны изготавливают на различных видах полимерного связующего вещества, основу которого составляют смолы (полиэфирные, эпоксидные, карбамидные) или мономеры (фурфуролацетоновый), которые отвердевают в бетоне с помощью специальных добавок. Эти бетоны более пригодны для службы в агрессивных средах и особых условиях воздействия (истирание, кавитация).

Полимерцементные бетоны получают на смешанном связующем веществе, состоящем из цемента и полимерного вещества (водорастворимые смолы и латексы).

Специальные бетоны готовят с применением особых вяжущих веществ. Для кислотоупорных и жаростойких бетонов применяют жидкое стекло с кремнефтористым натрием, фосфатное связующее. В качестве специальных вяжущих веществ используют шлаковые, нефелиновые и стеклощелочные вещества, полученные из отходов промышленности.

Бетоны применяют для различных видов конструкций, как изготавливаемых на заводах сборного железобетона, так возводимых непосредственно на месте эксплуатации (в гидротехническом, дорожном строительстве).

В зависимости от области применения различают:

- обычный бетон для железобетонных конструкций (фундаментов, колонн, балок перекрытий и мостовых конструкций);
- гидротехнический бетон для плотин, шлюзов, облицовки каналов, водопроводно-канализационных сооружений;
- бетон для ограждающих конструкций (легкий);
- бетон для полов, тротуаров, дорожных и аэродромных покрытий;
- бетоны специального назначения (жароупорный, кислотостойкий, для радиационной защиты).

Общие требования ко всем бетонам и бетонным смесям следующие: до затвердевания бетонные смеси должны легко перемешиваться, транспортироваться, укладываться (обладать подвижностью и удобоукладываемостью), не расслаиваться; бетоны должны иметь определенную скорость твердения в соответствии с заданными сроками распалубки и ввода конструкции в эксплуатацию; расход цемента и стоимость бетона должны быть минимальными.

### **Строение и химический состав**

В отличие от портландцемента, химический состав которого представлен в основном известью и кремнеземом, глиноземистый цемент, кроме оксидов кальция и алюминия, содержит в небольших количествах также оксиды железа, титана, магния и др. Содержание оксидов в глиноземистом цементе характеризуется большими колебаниями, чем в портландцементе, и определяется способом производства клинкера (шлака), а также качеством применяемого сырья. За рубежом путем спекания или плавления в электродуговых печах выпускаются цементы, содержащие  $Fe_2O_3$  до 16 масс. %/

Химический состав цемента — важная характеристика, указывающая на его качество.

Оксид алюминия является основным оксидом, обеспечивающим образование алюминатов кальция. Для получения высокоглиноземистых цементов содержание  $Al_2O_3$  в смеси должно быть не менее 60 %. С увеличением количества оксида алюминия в цементе огнеупорность цемента повышается.

Оксид кальция входит в состав почти всех минералов цемента. Его количество наряду с содержанием  $Al_2O_3$  обуславливает тот или иной минералогический состав цемента. В глиноземистом цементе содержание  $CaO$  составляет 38—42%, в высокоглиноземистом — 16—35 %. Снижение количества  $CaO$  менее 16% предопределяет низкую прочность цементного камня. Содержание  $CaO$  в высокоглиноземистом цементе

свыше 35% обуславливает образование, наряду с низкоосновными минералами, высокоосновного алюмината кальция состава  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ .

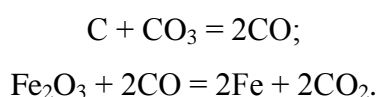
Количество оксидов железа в цементе обуславливается их содержанием в исходном сырье. Присутствие в цементе 5—10% оксидов железа оказывает благоприятное влияние на процесс минералообразования и на свойства цемента. При количестве  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  более 15 % качество цемента ухудшается. Предельное содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в глиноземистом цементе не должно превышать 25 %.

Однако наличие оксидов железа в высокоглиноземистом цементе вообще нежелательно: в их присутствии снижается огнеупорность цемента, а также ухудшаются технические свойства цементного камня в процессе его службы в составе жаростойкого бетона.

В тепловых агрегатах химической промышленности огнеупорный слой футеровки, соприкасающийся с рабочей средой, должен обладать достаточной устойчивостью к химическому воздействию при высоких температурах газовой среды водорода и оксида углерода.

Восстановительная атмосфера оказывает отрицательное воздействие на футеровку тепловых агрегатов, что выражается в разрушении футеровочных материалов в результате отложения сажистого углерода и изменения в объеме соединений железа, образующихся в результате взаимодействия оксида углерода и водорода с  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Процесс восстановления оксидов железа твердым углеродом осуществляется в две стадии:



Последующее взаимодействие Fe с C приводит к образованию  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Кристаллизация этого соединения сопровождается значительным увеличением в объеме, приводящем к разрушению структуры материала. Поэтому количественное содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в высокоглиноземистом цементе ограничивается 2 %, а в особо чистом высокоглиноземистом цементе — 0,2%.

Диоксид кремния также отрицательно влияет на качество цемента вследствие образования негидратирующегося цемента  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ . Более высокой прочностью обладает глиноземистый цемент, в котором содержание  $\text{SiO}_2$  менее 10 %. При этом количество CaO должно подбираться в зависимости от содержания  $\text{SiO}_2$ :

Если CaO в составе цемента меньше 31%, то даже при небольшом содержании SiO<sub>2</sub> (~6%) прочность цемента будет невысокой.

Отношение Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> является важнейшей характеристикой состава глиноземистого цемента. При Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> = 2 качество глиноземистого цемента низкое.

В восстановительной среде SiO<sub>2</sub> взаимодействует с оксидом углерода и углеродом с образованием SiO и Si. Оксид кремния может реагировать с парами воды с образованием гидратов Si(OH)<sub>4</sub> или Si(OH)<sub>6</sub>. Выделение кремния и образование указанных гидратов приводит к внутренним напряжениям в бетоне и разрушению футеровки.

В связи со сказанным количество SiO<sub>2</sub> в составе высокоглиноземистых цементов ограничивается 5%, а в особо чистом высокоглиноземистом цементе — 1%.

Оксид магния понижает температуру плавления и вязкость высокоглиноземистого расплава. По современным представлениям оксид магния в высокоглиноземистых цементах может присутствовать в виде периклаза MgO, акерманита 2CaO·MgO·SiO<sub>2</sub>, или шпинели MgO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При небольшом содержании MgO (до 2—3 %) он может войти в твердые растворы с другими минералами.

С увеличением содержания оксида магния в цементе свыше 2 % образуется магниевая шпинель MgO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что отрицательно сказывается на активности цемента. Однако, ввиду высокой температуры плавления шпинели, равной 2135 °С, такое соединение повышает огнеупорность цемента. Это свойство MgO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> используется для получения жаростойких алюми-натно-магниевых цементов с огнеупорностью до 1750 °С.

Диоксид титана в высокоглиноземистых цементах присутствует в очень незначительном количестве (менее 0,2 %) за исключением цементов, получаемых из шлаков ферротитанового производства.

Высокоглиноземистый цемент алюминотермического производства содержит 8-12 % TiO<sub>2</sub>. Диоксид титана в составе цемента образует перовскит CaO·TiO<sub>2</sub> — соединение, не подвергающееся гидратации. Количество TiO<sub>2</sub> в цементе не должно быть больше 2 %.

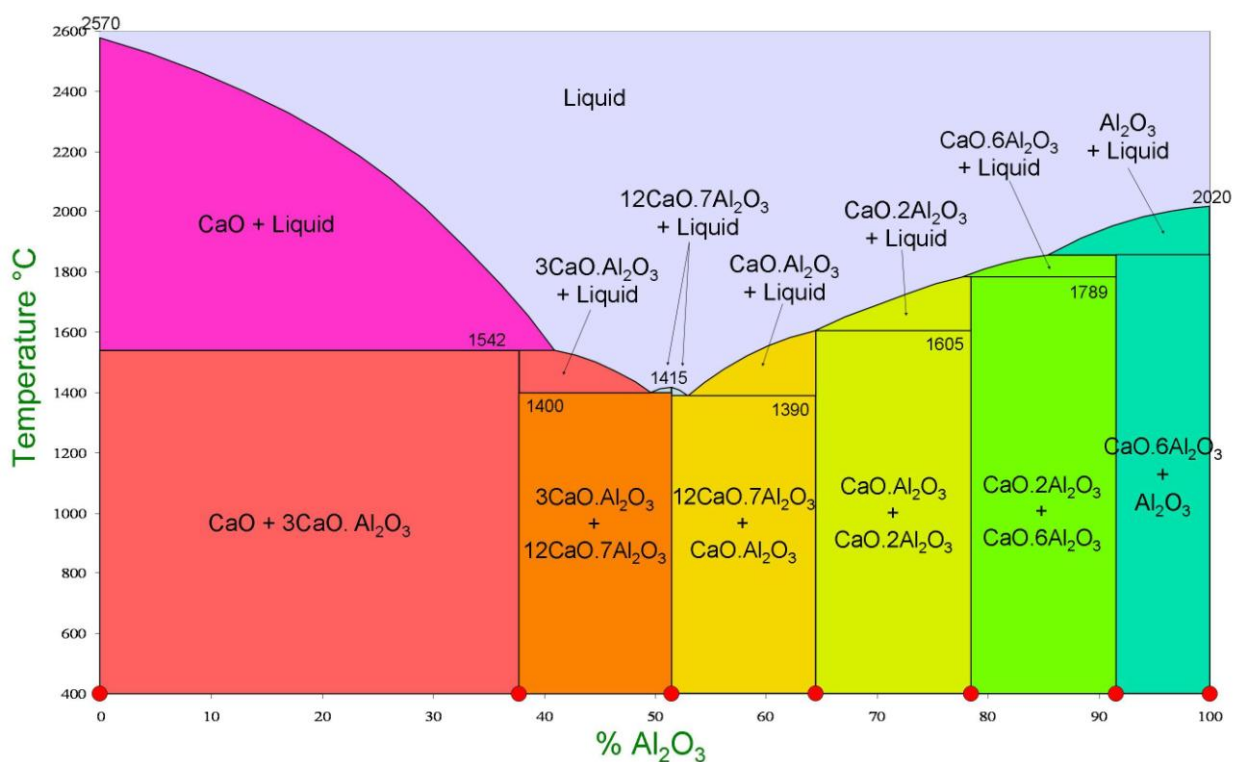


Рис. 13.1. Диаграмма состояния системы CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Оксиды калия, натрия и содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (более 1 %) отрицательно влияют на качество глиноземистого цемента.

Знание химического состава алюминатного цемента само по себе недостаточно, чтобы судить о свойствах последнего. Важно знать, какие соединения (минералы) образуются из сырьевой смеси, имеющей определенный химический состав, под воздействием термического фактора, т. е. применяемой технологии производства.

Система CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Впервые была изучена Ранкиным и Райтом. В последующих работах предложенная ими фазовая диаграмма изменялась. На рис.1 представлена диаграмма состояния системы CaO — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с учетом последних опубликованных данных.

В зависимости от соотношения CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в системе CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> образуются минералы: 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (C3A), 12CaO·7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (C12A7), CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CA), CaO·2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CA2) и CaO·6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CA6).

Трехкальциевый алюминат C3A является важной составляющей портландцемента, в глиноземистом цементе он не присутствует.

Двенадцатикальциевый семиалюминат  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  (в литературе часто представляется в виде  $5\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ ), по данным многих авторов, имеет две модификации: стабильную форму  $a = \text{C12A7}$  и нестабильную форму  $a' = \text{C12A7}$ . Стабильная форма  $\text{C12A7}$  характеризуется симметрией, плотностью  $2,7 \text{ г/см}^3$ , твердостью 5 (по шкале Мосса), выкристаллизовывается при  $1455 \text{ }^\circ\text{C}$ .  $a' = \text{C12A7}$  отличается тем, что в его элементарной ячейке 2 из 66 атомов кислорода не имеют определенного положения, а распределены статистически.

$\text{C12A7}$  способен поглощать пары воды. Даже при  $1400 \text{ }^\circ\text{C}$  содержание воды в нем составляет 1,4%. Поглощение воды сопровождается изменением параметров решетки, показателя светопреломления двенадцатикальциевого семиалюмината и изменением характера плавления ( $\text{C12A7}$ , содержащий небольшое количество влаги, принято записывать в виде  $\text{C12A7H}$ ). В сухом воздухе это соединение плавится инконгруэнтно, разлагаясь при  $1374 \text{ }^\circ\text{C}$  на  $\text{CA}$  и расплав. В присутствии паров воды  $\text{C12A7}$  плавится конгруэнтно при  $1391,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сложность изучения диаграммы состояния в области состава (мас.)  $50\text{Al}_2\text{O}_3 + 50\text{CaO}$  обуславливает различное мнение авторов относительно температуры и характера плавления  $\text{C12A7}$ . Характер диаграммы состояния зависит от парциального давления кислорода. В окислительной атмосфере вплоть до  $1460\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$   $\text{C12A7}$  плавится конгруэнтно. В восстановительной атмосфере температура плавления его равна  $1480\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Решетка  $\text{C12A7}$  способна включать ионы фтора и хлора с образованием соединения  $\text{C12A7CAx2}$ , где  $X$  есть  $\text{OH}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{Cl}$ , при этом параметры элементарной ячейки увеличиваются в следующем порядке: фторид — гидрат — хлорид.

Однокальциевый алюминат  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  относится к многоклинной сингонии. Его структура состоит из тетраэдров  $[\text{AlO}_4]$  и атомов кальция, нерегулярно координированных с шестью или семью атомами кислорода. Два атома кальция ( $\text{Ca}_2$  и  $\text{Ca}_3$ ) окружены шестью атомами кислорода, расположенными октаэдрально с расстояниями  $\text{Ca—O}$  от  $0,231$  до  $0,271 \text{ нм}$ . Третий атом кальция ( $\text{Ca}$ ) окружен девятью атомами кислорода.

Особенность структуры  $\text{CA}$  состоит в том, что  $\text{Ca}$  расположен в конце вытянутого октаэдра и имеет связи с кислородом от  $0,24$  до  $0,29 \text{ нм}$ . С нерегулярной координацией атомов кальция связывают высокую гидратационную активность  $\text{CA}$ .

Диалюминат кальция  $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{CA}_2$ ) — соединение моноклинной сингонии, имеет двуосные положительные кристаллы с малым углом между оптическими осями ( $20 = 12^\circ$ ). В  $\text{CA}_2$  атомы алюминия тетраэдрально скоординированы кислородом, причем кислород расположен в углу, общем для трех тетраэдров.

Атомы кальция неправильно скоординированы четырьмя  $\text{Ca—O}$  связями, размер которых превышает  $0,35 \text{ нм}$ .

САЗ гидратируется медленно, при повышенной температуре реакция взаимодействия с водой ускоряется.

Гексаалюминат кальция  $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$  (СА6) имеет гексагональную симметрию. Структура аналогична структуре глинозема. Оптические свойства близки к свойствам корунда, кристаллизуется в виде однородных пластин с отрицательным удлинением. СА6 является инертным минералом, при взаимодействии с водой не гидратируется, поэтому его наличие в цементе снижает прочность цементного камня.

Минералогический состав глиноземистого цемента, содержащего примесные оксиды. В глиноземистом цементе наряду с основными оксидами  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  всегда присутствуют оксиды железа, кремния, магния, количество которых зависит от состава применяемых сырьевых материалов, поэтому наряду с алюминатами кальция в цементе содержатся и другие фазы.

Кремнезем связывают оксиды алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и кальция  $\text{CaO}$  в геленит  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  (С2АS), может образовывать С2S или тройное соединение  $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , а оксиды  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$  - в алюмоферриты кальция различного состава. Оксид магния с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  образует шпинель  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . По данным Паркера, в системе  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{MgO}$ , составляющей глиноземистый цемент, могут присутствовать следующие минералы:

$\text{Ca} - \text{C}_6\text{A}_4\text{M}_S - \text{C}_{12}\text{A}_7 - \text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{CA} - \text{C}_6\text{A}_4\text{M}_S - \text{C}_2\text{S} - \text{C}_2\text{AS}$ ,  $\text{CA} - \text{C}_6\text{A}_4\text{M}_S - \text{C}_{12}\text{A}_7 - \text{MgO}$ ,  $\text{C}_6\text{A}_4\text{M}_S - \text{C}_{12}\text{A}_7 - \text{C}_2\text{S} - \text{MgO}$ ,  $\text{CA} - \text{C}_6\text{A}_4\text{M}_S - \text{C}_2\text{AS} - \text{MA}$ ,  $\text{CA} - \text{C}_6\text{A}_4\text{M}_S - \text{MA} - \text{MgO}$ ,  $\text{C}_6\text{A}_4\text{M}_S - \text{C}_2\text{S} - \text{C}_2\text{AS} - \text{MA}$ ,  $\text{C}_4\text{A}_4\text{M}_S - \text{C}_2\text{S} - \text{MA} - \text{MgO}$ .

Присутствующие в глиноземистом цементе в небольшом количестве  $\text{F}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeO}$  образуют соединения С2F, С6А2F или твердые растворы с СА, С12А7 и СА2.

Геленит  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  характеризуется мелилитовой структурой и склонен образовывать многочисленные твердые растворы, плавится при  $1590^\circ\text{C}$ . Он не обладает гидратационной активностью. Однако его твердые растворы проявляют это свойство, что и объясняет противоречивость мнений относительно его скрытой вяжущей способности.

Соединение  $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  разлагается при  $1315^\circ\text{C}$  на геленит, анорит и шестиалюминат кальция СА6, соединения гидратационно неактивные.

.Феррит кальция С2F характеризуется орторомбической псевдотригональной структурой. Атомы кальция координированы нерегулярно десятью атомами кислорода, что обуславливает гидратационную активность С2F.

Алюмоферриты кальция — это твердые растворы в ряду С2F — С8А3F. В составе глиноземистого цемента присутствует С6А2F. Алюмоферриты кальция обладают более слабой гидратационной активностью, чем алюминаты кальция.



В составе высокоглиноземистого цемента указанные выше оксиды находятся в небольшом количестве (до 2—3) в виде твердых растворов с алюминатами кальция, обуславливающих изменение гидратационной активности алюминатов кальция.

C12A7 характеризуется быстрым схватыванием, но невысокой прочностью. Внедрение в его решетку ионов  $Fe_3^+$ ,  $Ti_4^+$  удлиняет период схватывания и повышает прочность цементного камня.

СА обладает высокой гидратационной активностью. Он способен образовывать твердые растворы с моноферритом и монохромитом кальция. Внедрение Si и Fe в решетку СА повышает его гидратационную активность, однако неясно: является ли это обстоятельство положительным фактором для СА. Исходя из анализа сведений по быстро гидратирующимся, но обуславливающим низкую прочность цементного камня минералами C12A7 и C3A, можно ожидать, что увеличение гидратационной активности СА приведет к напряжениям в структуре цементного камня. Следовательно, общепринятое мнение о необходимости повышения гидратационной активности портландцементных клинкерных минералов путем их модифицирования применительно к моноалюминату кальция может оказаться неверным.

Внедрение в решетку медленно гидратирующегося минерала СА2 трехвалентных ионов ( $Cr_3^+$ ,  $Mn_3^+$ ,  $Fe_3^+$ ) увеличивает скорость гидратации. При этом СА2 приобретает высокую прочность и в ранние сроки твердения. Ускоряет скорость гидратации СА2 также наличие в его решетке ионов щелочных металлов.

### **Легкие и особо легкие бетоны**

Для приготовления легких бетонов используют различные виды пористых заполнителей: искусственные - керамзит, аглопорит, перлит, шлаковую пемзу и естественные - туф, пемзу.

Легкие бетоны на пористых заполнителях применяют в ограждающих конструкциях и для снижения собственной массы несущих конструкций. Поэтому для этих бетонов наряду с прочностью очень важное значение имеет плотность бетона.

Прочность особо легких бетонов редко бывает более 1,5 МПа, а прочность легкого бетона может изменяться в значительных пределах - от 2,5 до 30 МПа и выше.

Обычно легкие бетоны подразделяются на:

конструктивно-теплоизоляционные с плотностью 500 -1400 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 2...10 МПа

конструктивные с плотностью 1400...1800 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 10...30 МПа.

По структуре различают:

- плотные, или обычные, легкие бетоны, в которых раствор на тяжелом и легком песке полностью заполняет межзерновые пустоты крупного заполнителя;
- поризованные легкие бетоны, в которых не содержится песка и сохраняются межзерновые пустоты.

В строительстве используют главным образом легкие бетоны с крупностью пористого заполнителя до 20...40 мм, однако применяют и мелкозернистые легкие бетоны.

Легкие бетоны делятся на три вида:

- а) Поризованный легкий бетон;
- б) Крупнопористый бетон;
- в) Ячеистый бетон

**Поризованный легкий бетон.** Для улучшения теплофизических свойств легкого бетона на пористом заполнителе применяют поризацию растворной части бетона или заменяют ее поризованным цементным камнем, т.е. готовят легкий бетон на крупном пористом заполнителе без песка. К поризованным легким бетонам относят бетоны, содержащие более 800 л/м<sup>3</sup> легкого крупного заполнителя, у которых объем воздушных пор составляет 5...25 %. Поризацию таких бетонов осуществляют либо предварительно приготовленной пеной, либо за счет введения газообразующих или воздухововлекающих добавок. пеной поризуют только беспесчаные смеси, воздухововлекающими добавками - только смеси с песком, газообразующими добавками - смеси с песком и без песка. В зависимости от используемого заполнителя и способа поризации бетоны получают название: керамзитопенобетон, керамзитогазобетон, керамзитобетон с воздухововлекающими добавками.

Прочность поризованного бетона может быть 5...10 МПа, а плотность - 700...1400 кг/м<sup>3</sup>. Прочность и плотность бетона зависят от его структуры. Для поризованного легкого бетона рационально применять цемент М400 и выше, керамзит марок: М50, 75, 100, 150, 200, 250. Оптимальный показатель ОК = 5-6 см, оптимальный показатель Ж=30 - 90с. Расход керамзитового щебня или гравия не должен превышать 0,9 м<sup>3</sup> на один куб бетона. Расход цемента в керамзитобетоне для неармированных конструкций должен быть не менее 120 кг/м<sup>3</sup>, для армированных не менее 200 кг/м<sup>3</sup>.

**Крупнопористый бетон.** В состав крупнопористого (беспесчаного) бетона входят гравий или щебень крупностью 5-20 мм, портландцемент или шлакопортландцемент М300-М400 и вода. За счет исключения песка из состава крупнопористого бетона его плотность уменьшается примерно на 600-700 кг/м<sup>3</sup> и составляет 1700-1900 кг/м<sup>3</sup>. Отсутствие песка и ограниченный расход цемента (70-150 кг/м<sup>3</sup>) позволяют получить

пористый бетон с теплопроводностью 0,55-0,8 Вт/(м°С) и марками М15-М75. Крупнопористый бетон целесообразно применять в районах богатых гравием. Из крупнопористого бетона возводят монолитные наружные стены зданий, изготавливают крупные стеновые блоки. Стены из крупнопористого бетона оштукатуривают с двух сторон, чтобы устранить продувание.

Крупнопористый бетон на пористом заполнителе (керамзитовом гравии и т.п.) имеет небольшую плотность (500-700 кг/м<sup>3</sup>) и используется как теплоизоляционный материал.

**Ячеистый бетон** - это особо легкий бетон с большим количеством (до 85% от общего объема бетона) мелких и средних воздушных ячеек размером до 1... 1,5 мм.

Пористость ячеистым бетонам придается:

механическим путем, когда тесто, состоящее из вяжущего и воды, часто с добавкой мелкого песка, смешивают с отдельно приготовленной пеной; при твердении получается пористый материал, называемый пенобетоном;

химическим путем, когда в вяжущее вводят специальные газообразующие добавки.

В результате в тесте вяжущего вещества происходит реакция газообразования, оно вспучивается и становится пористым. Затвердевший материал называют газобетоном.

Ячеистые бетоны по плотности и назначению делят на теплоизоляционные с плотностью 300...600 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 0,4... 1,2 МПа и конструктивные с плотностью 600...1200 кг/м<sup>3</sup> (чаще всего около 800 кг/м<sup>3</sup>) и прочностью 2,5...15 МПа.

Широко развивается производство изделий из автоклавных ячеистых бетонов, т.е. твердеющих в автоклавах при пропаривании под давлением 0,8...1 МПа. Для автоклавного ячеистого бетона наиболее целесообразно использовать портландцемент совместно с известью - кипелкой в отношении 1:1 по массе.

Для приготовления автоклавных ячеистых бетонов применяют известь с содержанием активного оксида кальция не менее 70%, оксида магния не более 5%, высокоэкзотермическую с температурой гашения около 85 °С; тонкость помола должна быть не ниже 3500...4000 см<sup>2</sup>/г.

Для ячеистых бетонов неавтоклавного твердения применяют цементы не менее М400. В качестве кремнеземистого компонента рекомендуется применять тонкомолотые кварцевые пески, содержащие не менее 90% кремнезема, не более 5% глины и 0,5% слюды. Песок в зависимости от плотности ячеистого бетона должен иметь удельную поверхность 1200...2000 см<sup>2</sup>/г.

Для образования ячеистой структуры бетона применяют пенообразователи и газообразователи. В качестве пенообразователей используют несколько видов ПАВ (клееканифольный, смолосапониновый, алюмосульфатный и ГК). Расход

пенообразователя для получения пены составляет соответственно - 18...20 %; 12...16 %; 16...20 % и 4...6 %.

В качестве газообразователя применяют алюминиевую пудру, которую выпускают четырех марок. Для производства газобетона используют пудру марки ПАК-3 или ПАК-4 с содержанием активного алюминия - 82% ц тонкостью помола 5000...6000 кв.см. Расход алюминиевой пудры зависит от плотности получаемого газобетона и составляет 0,25 - 0,6 кг/м<sup>3</sup>.

### **Тяжелый бетон**

В строительстве наиболее широко используют обычный тяжелый бетон плотностью 1600 -2500 кг/куб. м. на заполнителях из горных пород (граните, известняке, диабазе, щебне). Строительными нормами и правилами, установлены следующие марки тяжелых бетонов - М100, 150, 200, 300, 400, 500, 600.

Существуют различные виды тяжелого бетона:

- ✓ Бетон для сборных железобетонных конструкций
- ✓ Высокопрочный бетон
- ✓ Быстротвердеющий бетон
- ✓ Бетон на мелком песке
- ✓ Бетон для гидротехнических сооружений
- ✓ Бетон для дорожных и аэродромных покрытий
- ✓ Бетон с тонкомолотыми добавками
- ✓ Малощебеночный бетон
- ✓ Литой бетон
- ✓ Бетон с поверхностно - активными добавками
- ✓ Бетон для сборных железобетонных конструкций

Для ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций применяют тепловую обработку. Рост прочности бетона при тепловой обработке определяется не только активностью, но также минералогическим составом цемента, составом бетона, консистенцией бетонной смеси, режимом тепловой обработки и другими факторами. Для получения требуемой отпускной прочности применяют следующий оптимальный режим тепловой обработки, предварительная выдержка -1...2 ч, подъем температуры -2...3 ч, изотермическая выдержка - 6...12 ч, остывание - 3...4 ч.

Оптимальная температура изотермической выдержки - 80 градусов.

Оптимальный состав бетона следующий: В = 140 л, Ц = 280 кг, Щ = 1415 кг, П = 590 кг.

**Высокопрочный бетон** прочностью 60... 100 МПа получают на основе цемента высоких марок, промытого песка и щебня прочностью не ниже 100 МПа. Высокопрочный бетон готовят с низким В/Ц = 0,3... 0,35 и ниже (смеси жесткие или малоподвижные) в бетоносмесителях принудительного действия. Для укладки смесей и формирования изделий используют интенсивное уплотнение: вибрирование с пригрузом, двойное вибрирование.

Для приготовления высокопрочного бетона применяют различные способы повышения активности цемента и качества бетонной смеси (домол и виброактивация цемента, виброперемешивание, применение суперпластификаторов) и принимают высокий расход цемента. Большие перспективы в получении высокопрочных бетонов связаны с применением вяжущего низкой водопотребности (ВНВ), которое получают совместным помолом высокомарочного цемента и суперпластификатора С-3. При бетонировании массивных сооружений целесообразно применить цементы с пониженным содержанием алита (трех кальциевого силиката) и особенно целита (трех кальциевого алюмината), лучше всего белитовые (двух кальциевый силикат). Максимально допустимый расход белитового портландцемента составляет 450 кг/ куб.м. В качестве крупного заполнителя следует применять фракционированный щебень из плотных и прочных горных пород. Предел прочности при сжатии - у изверженных не менее 100МПа и у осадочных 80 Мпа. Песок для высокопрочных бетонов должен иметь пустотность менее 40%. Марки высокопрочных бетонов М 500 - 1000.

**Быстротвердеющий бетон.** Получение быстротвердеющего бетона, обладающего относительно высокой прочностью в раннем возрасте (1...3 сут.) при твердении в нормальных условиях, достигается применением быстротвердеющего цемента, а также различными способами ускорения твердения цемента (применение жесткой бетонной смеси с низким В/Ц, использование добавок-ускорителей твердения (хлористый кальций, хлористый водород, глиноземистый цемент), сухое или мокрое домалывание цемента с добавкой гипса (2...5% от массы цемента) или с применением комплексных специальных добавок, активация цементного раствора. Для получения качественного быстротвердеющего бетона используют алюминатный цемент марки М500, домолотого с 3% гипса, жесткой бетонной смеси с В/Ц = 0,35, добавки хлористого кальция в количестве 2% веса цемента и виброперемешивание. По результатам испытаний в первые сутки быстротвердеющий бетон набирает прочность при сжатии 300 - 500 кг/ кв.см.

**Бетон на мелком песке.** Ввиду широкого распространения в природе мелких песков и отсутствия в некоторых районах песков с удовлетворительным зерновым составом допускаются применять в бетоне мелкие и тонкие пески (с  $M_{кр} < 1,5$ ) при условии соответствующего технике - экономического обоснования.

Мелкие пески по сравнению со средними и крупными характеризуются повышенной пустотностью и удельной поверхностью и худшим зерновым составом. Вследствие этого они несколько понижают прочность бетона и уменьшают подвижность бетонной смеси, что вызывает увеличение расхода цемента для получения равнопрочных и равноподвижных бетонов. Замена крупного песка мелким в большей степени сказывается на осадке конуса и меньшей - на удобоукладываемости бетонной смеси. Вместе с тем мелкий песок меньше раздвигает зерна крупного заполнителя и обладает лучшей водоудерживающей способностью, в результате чего уменьшается оптимальное содержание песка в бетоне и, следовательно, в меньшей мере заметно его влияние на водопотребность бетонной смеси.

Основные параметры: плотность бетонной смеси - 2350 кг/ куб. м; состав бетона М 300: В/Ц = 0,5, Ц = 370 кг/ куб. м, Ш = 1305 кг, П = 490 кг, В = 185 л.

**Бетон для гидротехнических сооружений** должен обеспечивать длительную службу конструкций, постоянно или периодически омываемых водой. Поэтому в зависимости от условий службы к гидротехническому бетону помимо требований прочности предъявляют также требования по водонепроницаемости и морозостойкости. Выполнение этих дополнительных требований достигается правильным определением состава бетона. Эти требования дифференцированы в зависимости от характера конструкции и условий ее работы.

Гидротехнический бетон делят на следующие разновидности: подводный; постоянно находящийся в воде; расположенный в зоне переменного горизонта воды; надводный, подвергающийся эпизодическому смыванию водой. Кроме того, различают массивный и немассивный бетон и бетон напорных и безнапорных конструкций. По прочности на сжатие в возрасте 180 суток гидротехнический бетон делят на классы В5, В7, В 10, В 15, В20, В25, В30, В40.

По водонепроницаемости в 180-суточном возрасте на четыре марки: W2, W4, W6, W8. Бетон марки W2 при стандартном испытании не должен пропускать воду при давлении 0,2МПа, а бетон марок W4, W6 и W8 - при давлении соответственно 0,4; 0,6 и 0,8 МПа.

По морозостойкости гидротехнический бетон делят на пять марок: F50, F100, F150, F200, F300. Максимальные допустимые значения В/Ц = 0,5...0,7. Допускается применение

для Гидротехнического бетона портландцемента, пластифицированного и гидрофобного цементов, пуццоланового и шлакового, а в некоторых случаях сульфатостойкого цемента.

**Бетоны для дорожных и аэродромных покрытий.** В бетонных покрытиях дорог и аэродромов основными расчетными напряжениями являются напряжения от изгиба, так как покрытие работает на изгиб, как плита на упругом основании. Поэтому при расчете состава бетона надо установить такое соотношение между его составляющими, которое обеспечивает требуемую прочность бетона на растяжение при изгибе, а также достаточную прочность на сжатие и морозостойкость. Проектную прочность дорожного бетона устанавливают в зависимости от назначения бетона: при изгибе - М 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55; при сжатии - М 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500.

Марки бетона по морозостойкости назначают в соответствии с климатическими условиями района строительства: F50, F100, F150, F200.

Требования к подвижности бетонной смеси: ОК (осадочный коэффициент) = 1...3 см; Ж = 2...5с и Ж = 10...15с, Чтобы обеспечить достаточную морозостойкость, и, следовательно, надежную защиту и эксплуатацию покрытий длительное время, соотношение В/Ц должно быть не более: для сурового климата - 0,5, умеренного - 0,53, мягкого - 0,55. Для оснований бетонных дорог допускается использовать портландцемент не ниже М 300, для бетона однослойных и двухслойных покрытий не ниже М 400 с содержанием трех кальциевого алюмината менее 10%. В качестве крупного заполнителя используют щебень из прочных пород - изверженных (прочностью не менее 120 МПа) и осадочных пород (прочностью не менее 80 МПа); гравий только после промывки, при этом содержание в них загрязняющих частиц, не должно превышать 1,5 - 2% по массе. Наибольший размер зерен щебня и гравия не менее 20мм, 40мм, 70мм. В качестве ПАВ используют - пластификаторы (ССБ) и воздухововлекающие (мылонафт и абиетат натрия); комплексные добавки - СДБ и мылонафт, СДБ и СНВ.

Оптимальный состав бетона: В = 155 л, Ц = 287 кг, Щ = 1340 кг, П = 655 кг.

**Бетон с тонкомолотыми добавками.** Применение тонкомолотых добавок (наполнителей) рационально в двух случаях:

- когда по условию прочности можно допустить большее В/Ц, чем требуется по условию долговечности бетона;
- когда прочность бетона можно обеспечить при меньшем расходе цемента, чем требуется по условию плотности.

**Малощебеночный бетон.** Малощебеночным называют бетон с пониженным содержанием щебня или гравия. При уменьшении содержания щебня в обычном бетоне повышается водопотребность бетонной смеси (так как возрастает удельная поверхность

заполнителя), увеличивается воздухововлечение в бетонную смесь и вследствие этого несколько уменьшаются прочность бетона и модуль деформации, возрастают усадка и ползучесть. Соответственно при введении щебня в цементно - песчаный бетон и увеличении его содержания свойства бетона изменяются в противоположном направлении. Меняя содержание щебня в бетоне, можно регулировать его свойства.

Малощебеночный бетон используют главным образом тогда, когда для железобетонных конструкций приходится применять дорогостоящий привозной щебень. Оптимальная плотность малощебеночного бетона составляет - 2380 кг/куб, м.

Оптимальный состав бетона на один куб : В = 150л, Ц = 280кг, Щ = 700кг, П = 1175кг.

**Литой бетон** готовят при высоком расходе воды, что требует уделять особое внимание предупреждению расслаивания бетонной смеси. Для ее предотвращения осуществляют мероприятия, способствующие повышению водоудерживающей способности смеси:

- используют цементы, обладающие достаточной водоудерживающей способностью;
- применяют суперпластификаторы, воздухововлекающие или водоудерживающие добавки;
- ограничивают значения соотношения В/Ц, чтобы избежать расслоения цементного теста;
- увеличивают содержание песка в бетонной смеси, повышая значения коэффициента раздвижки.

Для приготовления литых бетонов желательно использовать портландцемент и быстротвердеющий цемент. Такие цементы вследствие оптимального гранулометрического состава зерен и высокой точности помола обладают хорошей водоудерживающей способностью при высоких соотношениях В/Ц. Кроме того быстрое схватывание цементного теста уменьшает возможность его расслаивания, так как последнее может происходить только до момента затвердевания бетона. В строительстве используют литые бетоны с прочностью  $R = 20...60$  МПа.

**Бетон с поверхностно-активными добавками.** В современном строительстве широко применяют поверхностно - активные добавки (ПАВ), вводимые в состав бетона для улучшения его свойств и экономии цемента ПАВ подразделяются на две группы:

1 группа - пластифицирующие добавки пептизирующего действия, способствующие диспергированию коллоидной системы цементного теста и тем самым улучшающие его



текучесть, к ним относятся концентраты сульфитно-спиртовой барды (ССБ) и их производные,

2 группа - гидрофобизирующие добавки, вызывающие вовлечение в бетонную смесь мельчайших пузырьков воздуха, что также улучшает подвижность бетонной смеси и, кроме того, повышает морозостойкость бетона и улучшает некоторые другие его свойства, к ним относятся омыленный древесный пек, мылонафт, омыленная абиетиновая смола (абиетат натрия), препарат ГК (пенообразователь на основе гидролизованной крови), микропенообразователь БС, получаемый из растительного сырья. Оптимальное содержание добавки составляет: ССБ 0,15...0,25%, абиетата натрия 0,01...0,25% (от веса цемента).

Эффективность применения добавки зависит от многих факторов: состава бетона, качества цемента и заполнителя, пластичности бетонной смеси.

### **Особо тяжелый бетон**

Особо тяжелые бетоны применяют в специальных сооружениях для защиты от радиоактивных воздействий. К особо тяжелым относят бетоны с плотностью более 2500 кг/куб. м.

Для особо тяжелых бетонов применяют портландцемент, пуццолановый портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистый цемент, гипсоглино-земистый расширяющийся цемент. В качестве заполнителей в особо тяжелых бетонах используют материалы с высокой плотностью: магнетит, гематит, барит, металлический скрап.

К заполнителям особо тяжелых бетонов предъявляют следующие дополнительные требования:

минимальная прочность на сжатие чугунного скрапа - 200 МПа, магнетита - 200 МПа, лимонита или гематита - 35 МПа, барита - 40 МПа (испытания в цилиндрических образцах диаметром 50 мм, высотой 50 мм);

содержание полуторных окислов в барите - не более 1% массы заполнителей,

водопоглощение (% по массе) магнетита и барита 1-2, лимонита и гематита 9-10.

### **Особые виды бетона**

**Силикатный бетон** представляет собой бесцветный бетон автоклавного твердения. Вяжущим в нем является смесь извести с тонкомолотым кремнеземистым материалом. В процессе автоклавной обработки известь вступает с кремнеземистым компонентом в

химическую реакцию, в результате которой образуются гидросиликаты кальция, скрепляющие зерна заполнителя в прочный монолит. В зависимости от вида кремнеземистого компонента различают следующие виды вяжущего вещества: известково-кремнеземистые (тонкомолотая известь и песок); известково-шлаковые (совместный помол металлургического или топливного шлака и извести); известково-зольные (тонкомолотая известь и топливные золы); известково-белитовые (тонкомолотые продукты низкотемпературного обжига - белитового шлака и песка), и известково-аглопоритовые (известь и отходы производства искусственных пористых заполнителей). Соотношения извести и кремнеземистого компонента составляет от 30:70 до 50:50%. В качестве мелкого заполнителя применяют природные и дробленые пески, удовлетворяющие стандартным требованиям.

Для регулирования свойств вяжущего, бетонной смеси и бетона применяют специальные добавки: гипсовый камень для замедления гидратации извести; триэтанолламин для повышения помолоспособности компонентов вяжущего и пластификации бетонной смеси; кремнийорганические жидкости ГКЖ-10 и ГКЖ-11 для гидрофобизации и повышения долговечности бетона, суперпластификаторы.,

Прочность силикатного бетона меняется в широких пределах: 5-10 МПа в легких силикатных бетонах, 20-50 МПа в тяжелых бетонах и 80-100 МПа в высокопрочных бетонах. Из силикатного бетона производят плиты перекрытий, колонны, ригели, балки, ограждающие панели и стеновые блоки.

**Цементно-полимерные бетоны** - это цементные бетоны с добавками различных высокомолекулярных органических соединений в виде водной дисперсии полимеров - продуктов эмульсионной полимеризации различных полимеров: винилацетата, винилхлорида, стирола, латексов или водорастворимых коллоидов: поливинилового и фурилового спиртов, эпоксидных водорастворимых смол, полиамидных и мочевиноформальдегидных смол. Добавки вводят в бетонную смесь при ее приготовлении. Полимеры и материалы на их основе применяют в виде добавок в бетонную смесь, в качестве вяжущего, для пропитки готовых бетонных и железобетонных изделий, для дисперсного армирования полимерными волокнами, в виде легких заполнителей и в качестве микрозаполнителя.

Цементно-полимерные бетоны характеризуются наличием двух активных составляющих: минерального вяжущего и органического вещества. Вяжущее вещество с водой образует цементный камень, склеивающий частицы заполнителя в монолит. Полимер по мере удаления воды из бетона образует на поверхности пор, капилляров, зерен цемента и заполнителя тонкую пленку, которая обладает хорошей адгезией и

способствует повышению сцепления между заполнителем и цементным камнем, улучшает монолитность бетона и работу минерального скелета под нагрузкой. В результате цементно-полимерный бетон приобретает особые свойства: повышенную по сравнению с обычным бетоном прочность на растяжение и изгиб, более высокую морозостойкость, хорошие адгезионные свойства, высокую износостойкость, непроницаемость. Наиболее распространенными добавками полимеров в цементные бетоны являются ПВА, латексы и водорастворимые смолы.

**Полимербетоны.** Полимербетонами называют бетоны, в которых вяжущими служат различные полимерные смолы, а заполнителями - неорганические материалы (песок и щебень). Для экономии смолы и улучшения свойств полимербетонов в них иногда вводят тонкомолотые наполнители. Для ускорения твердения и улучшения свойств применяют отвердители, пластификаторы. Наиболее часто для полимербетонов используют термореактивные смолы: фурановые (ФА), эпоксидные (ЭД-5, ЭД-6) и полиэфирные (ПН-1 и ПН-3; МГ Ф-9 и ТМГ Ф-11). Фурановые смолы обычно получают конденсацией фурфурола и фурфурилового спирта с фенолами и кетонами. В строительстве наибольшее распространение получил мономер ФА, получаемый при взаимодействии фурфурола и ацетона в щелочной среде. При нормальной температуре это жидкость желтовато-коричневого цвета плотностью 1,082г/куб.см с температурой кипения 160...240 градусов, нерастворимая в воде, но растворимая в эфирах и ацетоне. Мономер ФА отверждают бензосульфокислотами (20...30% массы ФА). Эпоксидные смолы - э то полимерные вещества линейного строения, содержащие эпоксигруппу. Для полимербетонов наиболее пригодны жидкие эпоксидные смолы ЭД-5, ЭД-6. Эпоксидные смолы отверждаются с помощью катализатора ионного типа (10...20% массы смолы). Полиэфирные смолы получают путем поликонденсации двух основных кислот (малеиновой и фталевой) и многоатомных спиртов. В качестве вяжущих для полимербетонов обычно используют ненасыщенные полиэфирные смолы: полиэфирмалеинаты ПН-1 и ПН-3, полиэфирокарбонаты МГФ-9 и ТМГФ-11, которые отверждаются при обычной температуре с помощью специальных катализаторов (перекиси бензоила, циклогексанона, метилэтилкетона). Усредненные характеристики полимербетонов: прочность на сжатие - 20...100МПа; усадка линейная - 0,2...1,5%; мера ползучести - 0,3...0,5 кв.см/кг; пористость - 1...2%; стойкость к нагреву - 100...180 градусов по Цельсию: стойкость - к старению 4...6 баллов, к воде - 6...8 баллов, к щелочам - 2...10 баллов, к кислотам - 6... 10 баллов.

**Железобетон** представляет собой строительный материал, в котором выгодно сочетается совместная работа бетона и стали.

Идея сочетания в железобетоне этих двух крайне отличающихся механическими свойствами материалов базируются на следующем. Бетон, как и всякий каменный материал, хорошо сопротивляется сжимающим нагрузкам, но слабо противодействует растягивающим напряжениям: прочность бетона при растяжении примерно в 10—15 раз меньше прочности при сжатии. В результате этого бетон невыгодно использовать для изготовления конструкций, в которых возникают растягивающие напряжения. Сталь же, обладая очень высоким пределом прочности при растяжении, способна воспринимать растягивающие напряжения, возникающие в железобетонном элементе. Наиболее выгодно применять железобетон для строительных элементов, подверженных изгибу. При работе таких элементов возникают два противоположных напряжения — растягивающие и сжимающие. При этом сталь воспринимает первые, а бетон — вторые напряжения и железобетонный элемент в целом успешно противостоит изгибающим нагрузкам. Таким образом, сочетается работа бетона и стали в одном материале — железобетоне.

Возможность совместной работы в железобетоне двух резко различных по своим свойствам материалов определяется следующими важнейшими факторами:

- бетон прочно сцепляется со стальной арматурой, вследствие чего при возникновении напряжений в железобетонной конструкции оба материала работают совместно;
- сталь и бетон обладают почти одинаковым коэффициентом температурного расширения, что обеспечивает полную монолитность железобетона;
- бетон не только не оказывает разрушающего влияния на заключенную в нем сталь, но предохраняет ее от коррозии.

### **Классификация железобетонных изделий**

В основу классификации сборных железобетонных изделий положены следующие признаки: вид армирования, объемный вес, вид бетона, внутреннее строение и назначение.

По виду армирования изделия подразделяют на *предварительно напряженные* и *обычным армированием*.

По объемному весу применяемых бетонов изделия подразделяют на изготовленные из *тяжелых бетонов*, из *легких*, из *особо легких (теплоизоляционных) бетонов*, из *специальных особо тяжелых бетонов*.

По виду бетонов и применяемых в бетоне вяжущих изделия подразделяют на следующие: из цементных бетонов на основе портландцемента и его разновидностей, из силикатных бетонов на основе извести или смешанных вяжущих, из ячеистых бетонов на

основе портландцемента, извести или смешанных вяжущих, из специальных бетонов - жаростойких, химически стойких, декоративных, гидратных (содержащих большое количество воды).

### *Строение*

По внутреннему строению изделия могут быть сплошными и пустотелыми, изготовленными из бетона одного вида; однослойными или двухслойными и многослойными, изготовленными из разных видов бетона или с применением различных материалов (например, теплоизоляционных).

Кроме приведенного деления, железобетонные изделия одного вида могут отличаться также типоразмерами, когда их конструкция или размеры различны (например, стеновой блок, угловой или подоконный). Изделия одного типоразмера могут подразделяться также по маркам. В основу деления на марки положены способы армирования, наличие монтажных отверстий или различие в закладных деталях.

В зависимости от назначения сборные ЖБИ изделия подразделяют на четыре основные группы: *для жилых и общественных зданий, для промышленных зданий, для инженерных сооружений и изделия общего назначения.*

В группу изделий для жилых и общественных зданий по своему конструктивному назначению входят следующие:

- изделия для фундаментов и подземных частей - блоки ленточных фундаментов, панели и блоки стен подвалов, фундаментные блоки, элементы каналов в пределах здания;
- изделия для конструкций каркасов зданий - колонны, ригели, прогоны, подстропильные балки и фермы;
- изделия для наружных стен - стеновые блоки и панели;
- изделия для междуэтажных перекрытий - панели и настилы перекрытий, панели полов и потолка для отдельных перекрытий;
- изделия для покрытий - плиты и панели, изделия для сборных лестниц - лестничные марши и площадки, ступени;
- изделия для санитарно-технических устройств - санитарно-технические кабины, вентиляционные блоки, отопительные панели, блоки мусоропроводов, изделия для архитектурно-декоративного оформления фасадов и внутренних частей зданий - карнизные блоки и плиты и др.

Для промышленных зданий применяют изделия, аналогичные по своей номенклатуре перечисленным выше. Специфичными для них являются фермы и балки больших пролетов, колонны, арки, подкрановые балки.

В группу изделий для инженерных сооружений входят следующие:

- для водопроводно-канализационных смотровых колодцев - объемные элементы, коллекторы и др., для мостов и водопропускных труб - пролетные строения, плиты, опоры, сваи, кольца труб;
- для дорог и покрытий аэродромов - плиты, столбы сигнальных и путевых знаков, бордюрные камни;
- для метрополитенов и туннелей - блоки и тьюбинги обделки туннелей, блоки стен, колонн и перекрытий станций метрополитеном;
- для железнодорожного строительства - шпалы, опоры для подвески проводов, электрифицированных дорог, элементы платформ;
- для гидротехнических сооружений - плиты-оболочки, элементы эстакад морских портов, плиты водосливных поверхностей плотины;
- для линий электроснабжения и связи - стойки опор линий электропередач, анкерные плиты;
- для подземных горных выработок - рудничные шпалы, крепи вертикальных отвалов, наклонных и горизонтальных выработок; изделия для сельскохозяйственных сооружений - элементы для животноводческих зданий, теплиц и парников, силосных башен и траншей.

К изделиям общего назначения согласно этой классификации отнесены железобетонные трубы, элементы ограждений, опоры для подвески светильников.

### **Эксплуатационные требования**

Требования, предъявляемые к железобетонным конструкциям на стадии проектирования, должны найти отражение в технологических расчетах и соблюдаться при изготовлении в заводских условиях и в процессе возведения железобетонных сооружений непосредственно на строительной площадке.

Технологические расчеты включают в себя выбор вида портландцемента, песка и крупного заполнителя, определение состава бетона с учетом явлений, возникающих в процессе формирования и уплотнения бетонной смеси, режима вызревания — окаменения, при которых гарантированно обеспечивается эксплуатационная стойкость

железобетонной конструкции, подвергающейся воздействию внешней среды, способной вызывать деструкцию бетона.

Максимальный предел прочности цементного камня при разрыве достигается при непосредственном взаимодействии поверхностных ионов. В связи с этим при среднем диаметре кристаллогидрата 95 А прочность при разрыве ион-ионных связей составляет 32 МПа.

Привлечение современных физико-химических и физических методов при исследовании фазовых превращений, обуславливающих становление макроструктуры цементного камня, позволит найти способы и режимы активации ионообмена, при которых в короткие сроки достигается максимальная прочность без энергоемкой тепловой обработки бетона. Поэтому изыскание эффективных способов активации коагуляционного структурообразования при уплотнении цементного геля должно служить основным направлением в технологии бетона.

Требуемая плотность, обеспечивающая эксплуатационную стойкость железобетонной конструкции, достигается применением портландцемента высокой энергетической активности при соответствующем силовом воздействии на цементный гель. К такому вяжущему относится чисто клинкерный бездобавочный портландцемент, содержащий до 6 % минералов С3А (алюмината кальция) и С4АФ (четырёхкальциевого алюмоферрита) при удельной поверхности 2000—3500 см<sup>3</sup>/г и значении Кн. г в пределах 0,22—0,25. Следует добавить, что время начала «схватывания» цементного геля должно быть 45—60 мин и он должен выдерживать испытание на равномерность изменения объема.