

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА С УЧЕТОМ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ СИСТЕМЫ «КЛАДКА – ПОКРЫТИЕ»

В.А. ПАРУТА, канд. техн. наук, доцент, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина

В статье говорится о том, что для обеспечения высокой долговечности стеновой конструкции необходимо проектировать штукатурные растворы с учетом процессов, протекающих при нанесении смеси на кладку, ее твердении и механики разрушения системы «газобетонная кладка – штукатурное покрытие». Для получения растворов с высокой трещиностойкостью важно целенаправленно их модифицировать с учетом вышеперечисленных факторов. Для модификации целесообразно использовать комплексное известково-цементное вяжущее, заполнители с низким модулем упругости, микродисперсное армирование, эфиры целлюлозы и редиспергируемые полимерные порошки.



Парута Валентин Анатольевич

При проектировании свойств штукатурного раствора штукатурное покрытие следует рассматривать во взаимосвязи с составляющими ограждающей конструкции. Газобетонная кладка, штукатурка и декоративно-защитное покрытие (краска, декоративная штукатурка) работают совместно и определяют состояние стеновой конструкции, находящейся под влиянием наружных и внутренних воздействий. Для оптимальных условий работы системы «кладка – штукатурное покрытие», повышения долговечности стеновой конструкции необходимо уменьшить трещинообразование в штукатурном покрытии и в его контактной зоне с газобетонным основанием.

Применение предварительного грунтования газобетонной кладки перед нанесением штукатурной смеси малоэффективно. Это не предотвращает испарение влаги из штукатурки со стороны фасада, незначительно влияет на свойства штукатурного раствора, температурно-влажностные деформации кладки и штукатурного покрытия.

Для улучшения совместной работы штукатурного покрытия с газобетонной кладкой и повышения его трещиностойкости необходимо целенаправленно модифицировать состав материала с учетом механики разрушения системы «кладка – штукатурное покрытие». Необходимо разрабатывать составы однослойных штукатурок, которые можно применять

без дополнительного шпаклевания, так как многослойная штукатурка и шпаклевочный слой также являются источником трещин на фасадной поверхности.

Основной принцип проектирования штукатурных покрытий таков: необходимо, чтобы уровень напряжений в штукатурном покрытии и контактной зоне его с основанием в процессе твердения и эксплуатации был ниже прочности материала при растяжении. Для оценки вероятности трещинообразования, развития трещин в штукатурном покрытии и проектирования штукатурных растворов с учетом этих параметров необходима количественная оценка напряжений растяжения в штукатурном слое, касательных напряжений и напряжений отрыва на границе штукатурного слоя и газобетонного основания. Для того чтобы определить, будут ли распространяться трещины, необходимо знать величину и распределение напряжений, учитывать деформации, характер разрушения (отрыв или сдвиг), влияние температуры и влажности и др. При наличии концентраторов и градиента полей напряжений нормирование свойств должно основываться не только на учете уровня напряжений, но и их градиентов. Штукатурное покрытие необходимо рассчитывать на прочность и образование трещин при растяжении, изгибе и отрыве от кладки. При этом необходимо учитывать усилия, возникающие от воздействия усадки, ветровых, температурных и влажностных нагрузок, собственного веса.

Проверку прочности проектированных штукатурных составов необходимо производить по величинам напряжений, полученным в результате расчета напряжений в покрытии от собственных деформаций и деформаций стеновой конструкции.

Необходимо обратить внимание и на формирование контактной зоны «кладка – штукатурное покрытие». Ранее превалировал подход, что штукатурные растворы должны иметь высокую адгезию к кладке. Однако если прочность

штукатурного раствора будет значительно больше прочности кладки, то это приведет к разрушению контактной зоны или материала кладки. При сопоставимых прочностях газобетона и штукатурного покрытия контактная зона должна обладать такими свойствами, чтобы обеспечить совместность работы кладки и покрытия при деформации. Чтобы граница «кладка — штукатурное покрытие» не становилась зоной концентрации напряжений, деформационные и другие характеристики штукатурки должны быть близки характеристикам газобетонного основания. Общее правило, обеспечивающее надежность штукатурных покрытий каменной кладки, состоит в том, чтобы прочность покрытия была ниже прочности основания. Низкая прочность не является самоцелью, желательность низкой прочности раствора обусловлена корреляцией между прочностью материала и его модулем упругости.

Приняв эту концепцию за основу, появляется возможность управления качеством штукатурных растворов. На основе разработанной автором механики разрушения системы «газобетонная кладка — штукатурное покрытие» были разработаны теоретические основы совместной работы штукатурного покрытия с газобетонным основанием. Для этого, по нашему мнению, необходимо:

- уменьшить количество зарождающихся трещин при нанесении и твердении штукатурного покрытия и предотвратить или замедлить их рост при эксплуатационных воздействиях;

- штукатурное покрытие должно выдерживать, без разрушения, напряжения, которые будут возникать в нем при нанесении, твердении и эксплуатации;

- штукатурное покрытие должно обладать необходимой величиной релаксации, чтобы воспринимать напряжения, возникающие в газобетонном основании и самом штукатурном покрытии, иметь упругопластический характер разрушения;

- величина когезии штукатурного покрытия должна быть примерно равна величине когезии газобетонного основания;

- модули упругости штукатурного покрытия и газобетонного основания должны соответствовать один другому;

- штукатурное покрытие должно иметь высокую паропроницаемость, чтобы обеспечить отвод водяных паров из помещения через стеновую конструкцию, а также исключить конденсацию влаги в контактной зоне;

- штукатурное покрытие должно иметь эластичную, достаточно прочную контактную зону с газобетонным основанием;

Улучшение свойств растворной смеси

Одной из основных причин формирования дефектной структуры штукатурного покрытия и контактной зоны является обезвоживание смеси из-за отсоса влаги газобетонной кладкой и ее испарение под воздействием солнечных лучей и обдувания ветром.

Для обеспечения оптимальных условий твердения, предотвращения или уменьшения трещинообразования

растворная смесь должна иметь оптимальное В/Ц отношение, высокую водоудерживающую способность и адгезию к газобетонному основанию. Она должна иметь высокую тиксотропность, чтобы дать возможность произвести затирание поверхности и отказаться от шпаклевания.

Для обеспечения высокой водоудерживающей способности, постоянного В/Ц отношения и требуемой тиксотропности в смесь необходимо вводить гидравлическую известь взамен части цемента, тонкомолотые добавки с высокой водоудерживающей способностью (известняковая мука), эфиры целлюлозы и редиспергируемые полимерные порошки.

Введением этих добавок можно оказывать существенное влияние на процессы, происходящие при твердении штукатурного покрытия. Их использование даст возможность изменять кинетику твердения штукатурного раствора и, следовательно, влиять на процессы структурообразования, основные свойства и трещиностойкость штукатурного покрытия.

Уменьшение трещинообразования на стадии нанесения и твердения штукатурного раствора

Основные процессы структурообразования в штукатурном растворе осуществляются на стадии перемешивания, нанесения на газобетонное основание и твердения. Образуется структура, которая оказывает влияние на свойства штукатурного покрытия и в последующий период эксплуатационного воздействия.

Еще на этой стадии в штукатурном покрытии и контактной зоне с кладкой образуется значительное количество трещин, причиной которых является усадка раствора при твердении. Поэтому одним из главных путей повышения трещиностойкости штукатурного покрытия является снижение усадки и повышение предельной деформативности цементного раствора. Уменьшить количество усадочных трещин в микроструктуре штукатурного раствора можно введением редиспергируемых полимерных порошков, эфиров целлюлозы и микродисперсного армирования, наполнителей с низким модулем упругости.

На величину и характер пор, которые также являются дефектами структуры, влияет В/Ц отношение и степень гидратации цемента [1]. Необходимое В/Ц отношение можно обеспечить введением пластифицирующих добавок, эфиров целлюлозы, редиспергируемых полимерных порошков, тем самым обеспечив максимальную степень гидратации. При необходимом В/Ц будет обеспечена оптимальная пористость и максимальная степень гидратации, а значит, уменьшится количество зародышевых трещин на стадии нанесения и твердения штукатурного раствора.

Увеличение предельной растяжимости штукатурного раствора

Одним из главных путей повышения трещиностойкости штукатурного покрытия является повышение его предельной деформативности (растяжимости). Если у обычного цементно-песчаного раствора предельная растяжимость

составляет $10 \cdot 10^{-5}$, то полимерцементные штукатурные растворы должны быть порядка $50-80 \cdot 10^{-5}$.

Обеспечение упругопластичного характера разрушения штукатурного покрытия

В результате усадки при твердении и перепадах влажности и температуры, при эксплуатации в штукатурном покрытии возникают деформации растяжения. Как только они по своей величине превзойдут показатели предельной растяжимости раствора, в штукатурке возникают и развиваются трещины. Повышению трещиностойкости штукатурного покрытия способствует повышение прочности на растяжение и предельной деформативности. У немодифицированных штукатурных растворов превалирует упругое разрушение, а у модифицированных должна увеличиться доля упругопластического разрушения. Таким образом, можно будет обеспечить замедление роста трещин при усталостном характере разрушения. Анализ уравнения $\sigma = \Delta \varepsilon \cdot \nu \cdot E / (1 - \mu)$ (где E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона штукатурного покрытия; $\Delta \varepsilon$ – величина деформации штукатурного покрытия) показывает, что снижению напряжений и повышению трещиностойкости штукатурок будет содействовать повышение упругопластических характеристик раствора и его предельной деформативности – снижение параметров ν и E , повышение прочности на растяжение и снижение усадки раствора.

Необходимость уменьшения модуля упругости штукатурного покрытия

Анализ уравнения Т. Юнга $\varepsilon = \delta / E$ указывает на то, что, уменьшая модуль упругости (E) штукатурного покрытия, мы можем увеличить его растяжимость (ε) (деформативность), снизить напряжения растяжения (δ) в материале и повысить его трещиностойкость. Учитывая то, что растяжимость полимерцементного раствора в 6-10 раз больше, чем у обычного, немодифицированного, снижение модуля упругости позволит уменьшить напряжения и трещинообразование в штукатурном покрытии.

Уменьшение модуля упругости штукатурного покрытия приведет к уменьшению напряжений сдвига (τ), которые предопределяют развитие трещин в контактной зоне «газобетонная кладка – штукатурное покрытие»:

$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right],$$

где: τ – напряжение сдвига от температурных деформаций, кгс/см²; $\Delta T_1, \Delta T_2$ – разность температуры штукатурного покрытия и кладки, °С; α_1, α_2 – коэффициенты термического расширения кладки и штукатурного покрытия; E_1, E_2 – модули упругости кладки и штукатурного покрытия, кгс/см².

Формирование контактной зоны

Чтобы контактная зона «газобетонная кладка – штукатурное покрытие» не становилась зоной концентрации напряжений, при твердении раствора и эксплуатационных

воздействиях необходимо, чтобы деформационные характеристики штукатурки и газобетона были близки. Однако только этого условия недостаточно. Стеновую конструкцию следует рассматривать как трехслойную систему: «газобетонная кладка – контактная зона – штукатурное покрытие». Необходимо целенаправленно формировать эластичную, достаточно прочную, трещиностойкую контактную зону. В этом случае релаксационные процессы в контактной зоне будут протекать с большими скоростями, что приведет к снижению напряжений и обеспечит оптимальные условия совместной работы штукатурного покрытия с газобетонным основанием.

Требования по высокой паропроницаемости штукатурного покрытия

Для обеспечения долговечности стеновой конструкции необходима высокая паропроницаемость штукатурного покрытия. Требование к уменьшению сопротивления паропроницанию штукатурного покрытия направлено не только на обеспечение нормируемого влажностного режима всей конструкции, но и на выполнение более строгого требования – недопущение переувлажнения конденсатом контактного слоя с газобетонной кладкой. Если это условие не будет обеспечено, то произойдет размораживание кладки и разрушение контактной зоны с последующим отслоением штукатурного покрытия [2].

Конструктивные требования ($0,2-0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$) могут быть уточнены применительно к конкретному региону строительства и характеристикам отделочного покрытия исходя из условия: допустимая влажность газобетонной кладки в слое 20 мм за штукатурным покрытием должна быть не более 35% [2].

Штукатурные растворы представляют собой сложные многокомпонентные системы, в состав которых входят вяжущее, заполнитель и наполнитель, вода, армирующие волокна и полимерные добавки. Для обеспечения трещиностойкости штукатурного раствора материал должен содержать компоненты, способные воспринимать и перераспределять объемные деформации и быть стойкими в эксплуатационной среде. К таким компонентам относятся цементно-известковое вяжущее, заполнители с низким модулем упругости, полимерная фибра и редуцируемые полимерные порошки, эфиры целлюлозы. Целенаправленно влияя на выбор этих компонентов, их количество, можно обеспечить необходимые физико-механические свойства и трещиностойкость штукатурного раствора. Представления о модификации штукатурного раствора как композиционного материала необходимо разрабатывать с учетом свойств, строения и химии поверхности его составляющих, физикохимии межфазного взаимодействия, а также механики разрушения системы «газобетонная кладка – штукатурное покрытие».

Свойства штукатурного раствора закладываются на стадии формирования. Необходимо целенаправленно формировать структуру штукатурного покрытия с заданными свойствами, в которых торможение трещин будет

происходить за счет взаимодействия ее элементов. Так как структурообразование в значительной мере определяет кинетику формирования и развития трещин, ответственных за разрушение материала, то в штукатурном растворе должна быть сформирована такая структура, при которой обеспечивается минимальное трещинообразование на стадии твердения и торможение роста трещин в процессе эксплуатации. Для решения этой задачи необходимо управлять процессами структурообразования. Формирование необходимой структуры штукатурных растворов – это многофакторный процесс, допускающий определенный уровень управления. Методами управления процессами структурообразования являются введение полимерных добавок (редиспергируемых полимерных порошков и эфиров целлюлозы), применение заполнителей с низким модулем упругости и микродисперсного армирования.

Торможение трещин может быть вызвано релаксацией, происходящей как в полимерцементном вяжущем (матрице), так и на границе матрицы с заполнителем и на границе штукатурного покрытия с газобетонным основанием. Трещине как элементу структуры материала присущи определенные регулируемые параметры демпфирования, обеспечивающие зону пластической деформации в процессе развития, что исключает хрупкое разрушение штукатурного раствора. И если у обычной штукатурки превалирует доля упругого разрушения, то у модифицированной должна быть увеличена доля упругопластического разрушения. Благодаря тому что релаксационные процессы в таких системах будут протекать с большими скоростями, а внутренние напряжения снижаться, это приведет к повышению трещиностойкости штукатурного покрытия и контактной зоны «кладка – покрытие».

Для снижения градиентов внутрискруктурных напряжений необходимо формировать определенную поровую структуру. Направление регулирования пористости должно включать снижение среднего и наибольшего размеров пор к варианту одноранговой пористости, т.е. принцип сближения пор по размерам смежных рангов.

С увеличением прочности раствора напряжения в штукатурном слое возрастают пропорционально его модулю упругости. Следовательно, проектировать свойства штукатурного покрытия и, в частности, прочность, среднюю плотность и модуль упругости штукатурного раствора нужно с учетом таких же свойств газобетонного основания. Необходимо уменьшать среднюю плотность, прочность и модуль упругости штукатурного раствора, что позволит уменьшить в нем напряжения и повысить его трещиностойкость.

Модуль упругости, ползучесть, усадка, коэффициент температурных и влажностных деформаций штукатурного покрытия зависят от характеристик его составляющих, то есть полимерцементной матрицы, заполнителя, микродисперсного армирования, а также от объемной концентрации каждого из указанных компонентов. Природа компонентов, их фазовый состав, соотношение, состояние границы раздела фаз и формирование определенной микро- и мак-

роструктуры определяют свойства штукатурного раствора и его трещиностойкость.

При конструировании и изготовлении штукатурного раствора следует получать новые типы структуры, обладающие лучшими свойствами по сравнению со свойствами отдельных составляющих компонентов.

Минеральные вяжущие для штукатурного раствора

Необходимо использовать известково-цементное вяжущее. Гашеную известь следует добавлять в цементный раствор по двум причинам: она повысит пластичность растворной смеси и позволит получить более эластичное штукатурное покрытие, уменьшая, таким образом, трещинообразование на стадии нанесения и твердения. Так как избыточное количество свободной извести может интенсифицировать коррозионные процессы под воздействием агрессивной атмосферной среды, целесообразно вводить пуццолановую добавку. Приемлемым решением можно считать использование шлакопортландцемента. Его применение обеспечит введение в смесь минералов портландцемента, которые будут участвовать в формировании полимерцементной матрицы, а частицы шлака свяжут избыточное количество свободной извести.

Применение эфиров целлюлозы

Основной причиной трещинообразования в штукатурном покрытии и контактной зоне его с основанием являются усадочные трещины, возникающие из-за отсоса влаги газобетонным основанием и испарением ее под воздействием солнца и ветра. Применение производных целлюлозы позволит повысить водоудерживающую способность, предотвратить быстрое высыхание штукатурного раствора, улучшить сцепление его с газобетонным основанием. При их добавлении можно получить растворную смесь, которую можно наносить на газобетонное основание без предварительного грунтования. Применение эфиров целлюлозы улучшит удобоукладываемость растворов за счет повышения их пластичности и тиксотропные свойства растворной смеси, что позволит затирать поверхность штукатурки без дополнительного шпатлевания.

Использование эфиров целлюлозы даст возможность влиять на процессы структурообразования штукатурных растворов, основные прочностные свойства и трещиностойкость. Эти качества приобретаются благодаря высоким водоудерживающим свойствам эфиров целлюлозы. Применение эфиров целлюлозы обеспечивает увеличение степени гидратации цемента. Каждая молекула этого полимера может удерживать до 20 тысяч молекул воды. Сила притяжения воды настолько велика, что она практически не испаряется и не впитывается материалом кладки. В то же время она несколько ниже энергии диффузии воды в гидратируемые частицы цемента, что позволит ему отбирать эту воду. Это позволит раствору набирать необходимую прочность даже при нанесении тонким слоем, уменьшит усадку штукатурного покрытия при твердении.

Применение мелкодисперсного армирования

Цементно-песчаный раствор обладает сравнительно низкой прочностью на растяжение и трещиностойкостью. Для улучшения этих показателей целесообразно использовать мелкодисперсное армирование. Сущность микродисперсного армирования заключается в том, что армирующие волокна по своей природе способны воспринимать большие напряжения, чем полимерцементная матрица, упрочняя материал. Это, в свою очередь, обеспечит стойкость к переменному увлажнению-высушиванию, замораживанию-оттаиванию, увеличит долговечность штукатурного покрытия и ограждающей конструкции.

Применение микродисперсного армирования позволяет: улучшить тиксотропные свойства растворной смеси; понизить пластическую усадку штукатурного раствора в процессе твердения, и следовательно, уменьшить трещинообразование в материале; увеличить прочность при растяжении, деформативность и предельную растяжимость; увеличить ударную вязкость; компенсировать недостатки фракционного состава заполнителя; увеличить морозостойкость штукатурного раствора;

Для полимерцементных штукатурных растворов необходимо применять волокна с низким модулем упругости, что позволит увеличить их способность к деформации без разрушения. Оптимальным является использование полипропиленовых волокон, они химически инертны, гидрофобны, имеют малую насыпную плотность. Установлено, что наличие полипропиленовой фибры в штукатурном растворе устраняет образование усадочных трещин на 60-90% [5]. Применение дисперсного армирования позволяет снизить концентрацию напряжений при эксплуатационных воздействиях, тем самым предотвращая развитие трещин, образовавшихся в период твердения штукатурного покрытия.

Большая эластичность полимерной фибры, неприемлемая для высокопрочных материалов (бетонов), для полимерцементного штукатурного раствора является оптимальной. При усталостном характере разрушения трещина раскрывается, полимерное волокно растягивается без разрушения, сдерживая развитие трещины. При закрытии трещины полимерное волокно дает усадку, после чего цикл нагрузки повторяется.

Полипропиленовое волокно имеет низкую адгезию к цементному камню [6]. Одним из способов повышения этого показателя является использование редиспергируемых полимерных порошков, которые образуют полимерцементную матрицу, повышая адгезию на границе «волокно – полимерцементная матрица».

Применение полимерных добавок

Одним из методов управления процессами структурообразования штукатурных растворов и их свойствами является введение полимерных добавок (водоредуцирующих, воздухововлекающих, водоудерживающих, редиспергируемых порошков и др.) [7].

Их введением можно регулировать свойства растворных смесей – водопотребность, водоудерживающую способ-

ность, пластичность, сроки схватывания. Для затвердевших растворов – прочность, пористость, паропроницаемость, водопоглощение, морозостойкость, величину деформации и предельную растяжимость, трещинообразование и др.

Их применение позволит:

- повысить водоудерживающую способность растворной смеси, уменьшив испарение влаги и отсос ее пористым основанием, обеспечив оптимальные условия для твердения раствора;

- повысить прочность при изгибе, предельную растяжимость и трещиностойкость штукатурного раствора;

- повысить адгезию штукатурной смеси к газобетонному основанию;

- повысить гидрофобность штукатурного раствора, что приведет к уменьшению водопоглощения, увеличению атмосферо- и морозостойкости штукатурного покрытия и долговечности стеновой конструкции;

Введение полимеров оказывает существенное влияние на процессы, происходящие при твердении штукатурного раствора, дает возможность изменять кинетику твердения, влиять на процессы структурообразования и основные свойства. Введение этих добавок обеспечит формирование закрытой пористости определенной структуры и размеров, позволит повысить прочность на растяжение и предельную растяжимость штукатурного покрытия, трещиностойкость, адгезию и водонепроницаемость, снизить усадку и водопоглощение.

Полимерцементная матрица будет взаимно прорастать с мелким заполнителем, обеспечивая качественную контактную зону между ними. Образовавшиеся полимерные пленки будут препятствовать образованию и распространению трещин в штукатурном растворе, обеспечивая лучшее сцепление полимерцементной матрицы с заполнителем. Упруговязкие образования в структуре материала уменьшат локальные напряжения и погасят энергию роста трещин.

Применение редиспергируемых полимерных порошков позволит обеспечить формирование качественной контактной зоны штукатурного раствора с газобетонным основанием. Это объясняется тем, что жидкая фаза цементного камня, содержащая полимерные частицы, ионы кальция, алюминатные и кремнийкислородные анионы, будет проникать в поры газобетона, а протекающие процессы гидратации и полимеризации обеспечат формирование качественной контактной зоны.

Введение редиспергируемых полимерных порошков обеспечит увеличение величины адгезии полимерной фибры и цементно-полимерной матрицы. А это приведет к тому, что фибра при нагрузке не будет выдергиваться из матрицы, а будет разрываться по сечению, тем самым повышая трещиностойкость штукатурного раствора.

Применение заполнителей с низким модулем упругости

Заполнители вместе с цементным камнем, полимерной фиброй, химическими добавками, поверхностью газобетонной кладки при воздействии окружающей среды формируют структуру штукатурного раствора. Они оказывают

влияние на структуру материала как на микро-, так и на макроуровне.

У штукатурного раствора, имеющего составляющие с различными модулями упругости, будет иметь место неравномерное распределение напряжений, что приведет к образованию и развитию дефектов в процессе эксплуатации. Чем значительнее разница между физико-механическими характеристиками цементного камня и заполнителя, чем больше такого заполнителя и хуже его сцепление с цементным камнем, тем раньше появляются микротрещины при более низких уровнях напряжений. Кварцевый песок не обладает идеальной совместимостью с цементным камнем в силу высокого модуля упругости (40000-70000 МПа), что приводит к значительным усадочным напряжениям в процессе твердения и, как результат этого, к появлению и развитию трещин. Напряжение распределяется по сечению материала неравномерно. При $E_z > E_{цк}$ (E_z – модуль упругости заполнителя – кварцевого песка; $E_{цк}$ – модуль упругости цементного камня) оно концентрируется в наиболее плотных, упругих зернах кварцевого песка и в участках цементного камня, непосредственно контактирующих с этими зернами. При этом растягивающие напряжения могут достичь значений, превышающих предел прочности раствора на растяжение, что приведет к появлению микротрещин.

Одна из целей целенаправленной модификации штукатурного раствора является снижение его модуля упругости. При использовании мелкого заполнителя с большим модулем упругости (кварцевый песок), для того чтобы получить раствор с низким модулем упругости, необходимо увеличивать содержание полимера, что экономически нецелесообразно. Только применением полимеров можно снизить модуль упругости, но со временем полимеры теряют эластичность, что приведет к снижению трещиностойкости штукатурного покрытия и его долговечности.

Модуль упругости штукатурного раствора уменьшается по мере повышения деформативности заполнителя и снижения его модуля упругости. Поэтому целесообразнее обеспечить снижение модуля упругости раствора применением заполнителей с низким модулем упругости (перлит, вермикулит, керамзитовый песок, песок, полученный дроблением отходов газобетона, и др.), а полученный эффект усилить введением полимеров. В процессе структурообразования заполнитель с низким модулем упругости способствуют снижению усадочных напряжений на границе «заполнитель – полимерцементный камень» и растягивающих напряжений в самом полимерцементном камне. Это приводит к выравниванию напряжений в структуре материала и перераспределяет их среди составляющих, что приведет к снижению трещинообразования. При $E_z < E_{цк}$ концентрация напряжений наблюдается на участках более прочной и упругой растворной части.

Расчеты усадочных напряжений в растворе при частичной и полной замене кварцевого песка заполнителями с низким модулем упругости показали, что радиальные

напряжения сжатия и тангенциальные напряжения растяжения снижаются в 2-2,5 раза, радиальные напряжения растяжения (отрыва) – в 4-6 раз. При этом следует учитывать, что снижение модуля упругости заполнителя должно находиться в рамках модуля упругости цементного камня, так как значительное снижение жесткости заполнителя может привести к перегрузке цементной матрицы и потере прочности на сжатие.

При подборе состава штукатурного раствора необходимо учитывать и различие температурных деформаций полимерцементной матрицы и заполнителя. Это различие является причиной появления микроструктурных напряжений и может привести к трещинообразованию. Температурные деформации штукатурного раствора уменьшаются при замене кварцевого песка известняковым и другими заполнителями с низким модулем упругости. Поэтому развитие трещин на карбонатном заполнителе и других с низким модулем упругости протекает более медленно, чем на кварцевых песках. Заполнители с низким модулем упругости являются более эффективными центрами кристаллизации, что ускоряет твердение раствора.

Выводы:

Для обеспечения высокой долговечности стеновой конструкции следует проектировать штукатурные растворы с учетом процессов, протекающих при нанесении смеси на кладку, ее твердении и механики разрушения системы «газобетонная кладка – штукатурное покрытие». Для получения растворов с высокой трещиностойкостью необходимо целенаправленно их модифицировать с учетом вышеперечисленных факторов. Для модификации необходимо использовать комплексно: известково-цементное вяжущее, заполнители с низким модулем упругости, микродисперсное армирование, эфиры целлюлозы и редиспергируемые полимерные порошки.

Библиографический список

1. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. Физико-химическое бетоноведение / Пер с англ. Т.И. Розенберг, Ю.Б. Ратиновой. Под ред. В.Б. Ратинова, М.: Стройиздат, 1986, с. 278.
2. Гринфельд Г.И. Инженерные решения обеспечения энергоэффективности зданий. Отделка кладки из автоклавного газобетона / Учеб. пособие, СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011, с. 130.
3. Вандоловский А.Г., Казимагомедов И.Э., Деденева Е.Б. Повышение прочности композиционных материалов на цементной матрице // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск № 35. Одеса: Місто майстрів, 2009, с. 50-55.
4. Ван Кревелен Д.В. Свойства и химическое строение полимеров: Пер. с англ., М.: Химия, 1976, с. 416.
5. Mehta P.K., Monteiro J.M. Concrete: microstructure, properties, and materials, New York: McGraw-Hill, 2006.
6. Гранау Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях. М.: Стройиздат. 1980, с. 217.
7. Марчюкайтис Г.В., Гип И.Я. Влияние состава штукатурного раствора на его деформативные свойства // Строительные материалы, № 9, 2003, с. 36-38.