

СОВМЕСТИМОСТЬ – КАК КРИТЕРИЙ ОТБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕМОНТА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Гедулян С.И., Коваль С.В., Савченко С.В.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г.Одесса, Украина*

Ремонт железобетонных или бетонных конструкций представляет собой сложный многосторонний процесс, включающий в себя этапы обследования и диагностики конструкций, определение причин разрушения, планирование проведения ремонтных работ, выбор необходимых материалов и технологий (рис.1). Для достижения наилучшего результата необходим системный подход при выборе материалов для производства ремонтных работ [1].

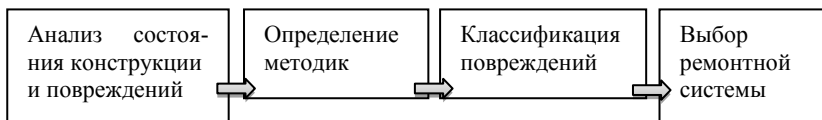


Рис.1. Обоснование выбора материалов для производства ремонтных работ

Основной проблемой, которая должна быть решена на предремонтном этапе - выбор ремонтного материала (РМ). Эффективный РМ должен обеспечить качество ремонта и сохранение его последствий. Отремонтированная конструкция в период дальнейшей эксплуатации должна обладать надежностью и иметь все необходимые функции «здоровых» конструкций. Необходимо обосновать рациональный РМ, отвечающий требованиям по нанесению и обеспечению характеристик по прочности и деформативности, обеспечивающий совместимость со «старым» бетоном, что является гарантией долговечности РМ [2]. Ремонтруемый фрагмент конструкции не может быть чужеродным. При этом учитывается, что любой РМ (даже имеющий такие же характеристики, как и у «старого бетона») будет отличаться от субстрата.

Согласно EN 1504 «Материалы и системы для ремонта и защиты бетонных конструкций» сродство свойств (совместимость) должно охватывать: прочность при сжатии и растяжении, сцепление в плоско-

сти контакта, механическую и тепловую деформативность, физические свойства (водонепроницаемость, газопроницаемость, морозостойкость, водопоглощение, стойкость к истиранию). Необходимо также учесть химические свойства (реактивность заполнителя, проводимость, электрохимические потенциалы), деформативные свойства (усадка, ползучесть), огнестойкость и другие специфические характеристики ремонтных и ремонтируемых систем в конкретных условиях эксплуатации.

Понятия совместимости (*compatibility*) или несовместимости (*incompatibility*) давно используются, например, в психологии, медицине, электронике. В последнее время эти понятия привлекаются и в материаловедении (Emmons и Czarneski [2], Morgan [3], Кулезнев [4]). В случае ремонтных материалов «совместимость» определяется [60] как «равновесие физических, химических, электрохимических и деформационных характеристик между материалом и ремонтируемым бетоном для достижения способности конструкции после ремонта сопротивляться напряжениям, вызванным изменениями объема, коррозионными, химическими или электрохимическими и другим воздействиям без отказов и повреждений в течение назначенного периода времени». Несовместимость материалов является главной причиной плохого ремонта. Выделяется несколько видов совместимости [2, 5].

Химическая совместимость, которая может быть связана с содержанием щелочей и хлоридов. Повышенное содержание ионов натрия и калия может активировать щелочную реакцию заполнителей в бетоне, а повышение концентрации ионов хлора (например, при использовании некоторых добавок) - ускорить коррозию арматуры.

Электрохимическая совместимость, например, заключается в соответствии электрического сопротивления и уровня pH, что позволяет избежать формирования микроочагов коррозии стали. Содержащаяся в порах бетона жидкость (pH около 12,5) создает на поверхности стальной арматуры пассивный защитный слой Fe_2O_3 , что гарантирует защиту арматуры от коррозии. Несовместимость может определяться повышением концентрации Fe^{2+} , реакцией $Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$ и снижением защитной способности покрытия относительно арматуры.

Физическая совместимость – соответствие тепловых и упругих деформаций, что достигается при качественно выбранных отдельных механических (прочность) и физических (главным образом тепловых) характеристиках. Совместимость подразумевает характер поведения материала как в затвердевшем, так и в твердеющем состоянии.

Основное требование физической совместимости – соответствие его **деформационных характеристик** РМ соответствующим характеристикам субстрата при выполнении условия [2]

$$R \frac{PM}{B} \geq \frac{\left(\varepsilon_{ct}^{PM} - \frac{f_{cm}^{PM}}{E_b} \right)}{E^{PM} + E_b} E^{PM} E_b, \quad (1)$$

где E_b, E^{PM} – модули упругости бетона и ремонтного материала (МПа),

f_{ct}^{PM} – прочность бетона на растяжение (МПа),

ε_{ct}^{PM} – деформации при растяжении (%),

Величина **модуля упругости** РМ должна быть близкой к модулю упругости субстрата, как и **показатели прочности на сжатие и растяжение**. Различие модулей бетона E_b и ремонтного материала E^{PM} , соответствующих прочностей f_{cm} и f_{cm}^{PM} может привести к несовместимым напряжениям и вызвать перераспределение нагрузок (рис. 2). Высокая прочность f_{cm}^{PM} на сжатие может в ряде случаев негативно влиять на другие свойства, которые необходимы для обеспечения качественного ремонта, при этом прочность на растяжение f_{ct}^{PM} далеко не всегда коррелируются с прочностью на сжатие f_{cm}^{PM} .


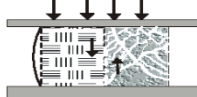



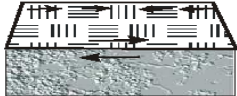
Свойство	Проявление несовместимости	Условие совместимости
 <p>Модуль упругости</p>		$E_b \cong E^{PM}$
 <p>Тепловые деформации</p>		$\alpha_T^b \cong \alpha_T^{PM}$
 <p>Усадочные деформации</p>		$\varepsilon_s \cong 0$

Рис.2. Некоторые условия совместимости РМ и субстрата [2]

При выборе РМ необходимо учитывать **прочность сцепления** ремонтного материала с субстратом, которая является основным требо-

ванием качественного ремонта. Если касательное напряжение в контактной зоне превышает прочность сдвига в этой зоне, наступает отслоение и как следствие, повреждения раствора [5].

По этой причине контактная зона старого материала с новым определяет долговечность ремонта. Стандартно для улучшения контактной зоны применяется грунтовочный слой, который повышает сцепление и значительно ограничивает результирующие касательные напряжения.

Условие совместимости по прочности записывается как:

$$f_{ct}^{\frac{PM}{B}} \geq f_{ct}^b, \quad (2)$$

где $R^{PM/B}$ –прочность сцепления РМ и «старого» бетона, МПа; f_{ct}^b – прочность бетона на растяжение, МПа.

Способность к образованию трещин также анализируется через различие прочностей РМ и «старого» бетона на растяжение как [2]:

$$\frac{f_{ct}^{PM} \cdot h^{PM}}{f_{ct}^b} \cdot \varepsilon_{ct}^{PM} (1 + \varepsilon_{ct}^{PM}) \geq \Delta a_r, \quad (3)$$

где h^{PM} – толщина ремонтного слоя (м), Δa_r – прирост ширины раскрытия трещин (мм).

Плохое сцепление между ремонтным материалом и правильно подготовленным бетонным субстратом часто происходит *из-за разности температурных деформаций* твердеющего ремонтного состава и основания и из-за его усадки при твердении. При изменении температуры величина деформаций конструкции пропорциональна коэффициенту температурного линейного расширения материала.

Тепловая совместимость ремонтного состава и субстрата описывается уравнением [2]:

$$R_T^{\frac{PM}{B}} > \frac{(\alpha_T^{PM} - \alpha_T^b) E^{PM} \cdot E_b}{E^{PM} + E_b} \quad (4)$$

где α_T^{PM} , α_T^b –коэффициенты линейного теплового расширения (K^{-1}), ΔT - прирост температуры (К).

С позиций сопротивляемости тепловому удару совместимость может быть учтена как:

$$\lambda_b < \frac{E_b \cdot \alpha_T^b}{B}, \quad (5)$$

$$B = \frac{(\alpha_T^{PM} - \alpha_T^b)}{E^{PM} - E_b} \cdot E^{PM} \cdot E_b, \quad (6)$$

где λ -коэффициент теплопроводности ($Вт \cdot м/К$).

Величина усадки при твердении гидравлических вяжущих на основе цемента оказывает большое влияние на сцепление ремонтного

состава с основанием и его прочность. Из материалов, которые обладают другими необходимыми свойствами, при выборе ремонтных материалов предпочтение следует отдавать тем, которые характеризуются самой низкой усадкой при твердении. С позиций усадки при твердении РМ условие совместимости можно записать как [2]:

$$R_{\varepsilon}^{\text{PM}} \geq \frac{0,3E^{\text{PM}} \cdot \varepsilon_s}{(1 - \nu^{\text{PM}})}, \quad (7)$$

где ε_s - линейная усадка (%), ν^{PM} – коэффициент Пуансона ремонтного материала

Обеспечение **барьерных свойств** позволяет, например, снизить упругое действие пара, проникающего через пористое бетонное основание и собирающегося на границе фаз материал «РМ - бетон» Для этого внутренний защитный слой (например, в градирнях) должен быть паро и водонепроницаемым, а внешний – водонепроницаемым, но паропроницаемым. Совместимость с позиции барьерных свойств может быть проанализирована как:

$$h^{\text{PM}} \geq \pi \sqrt{D \cdot \tau}, \quad (8)$$

D - коэффициент диффузии ($\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$), h^{PM} –толщина защитного слоя (м), τ - время проникновения (с).

Свойства **технологичности** – это свойства материалов, которыми они обладают в раннем возрасте. Некоторые из свойств технологичности облегчают укладку материала, но могут неблагоприятно отразиться на формировании других свойств материала.

При выборе ремонтных материалов следует учитывать **скорость набора прочности** при твердении. Очень быстрый набор прочности твердеющим материалом может негативно сказаться на транспортировке и укладке материала в конструкцию. Очень медленный рост прочности может создать проблемы со сроками выполнения работ при сжатых сроках сдачи объекта в эксплуатацию, нарушить последовательность технологического потока, а также привести в ряде случаев к негативным последствиям в обеспечении требуемого качества работ. При ремонте эксплуатируемых конструкций РМ, как правило, должен допускать нагружение конструкций через сутки после укладки [6].

На практике однако, не всегда удастся найти материалы для ремонта, так что все его особенности, совместимы с характеристиками материала восстанавливаемой конструкции. Поэтому следует всегда указывать основные требуемые для данных условий ведущие свойства материала, а также второстепенные свойства. В большинстве случаев, ведущим свойством является прочность материала, но к примеру, в случае ремонта резервуаров для жидкостей отличительной чертой хоро-

шего материала является водостойкость, в случае конструкции, работающей в условиях попеременных температур – термическая деформативность. Основные характеристики материалов для восстановления и ремонта должно быть абсолютно совместимы, хотя в отношении второстепенных характеристик можно допустить отклонения от этого принципа, достигающие 25% [5].

Выводы. Так как все более четко проявляются трудности в выборе материалов для ремонта, в настоящее время развиваются подходы и критерии к оценке совместимости ремонтного материала и ремонтируемого бетона. Проблема совместимости, с аналитической точки зрения, требует дальнейшей разработки. В настоящее время практика опережает теорию и отсутствие аналитических моделей осложняет выбор совместимых материалов. В то же время выбор ремонтных растворов с учетом совместимости с ремонтируемым бетоном позволит существенно повысить эффективность ремонтных работ.

Summary

In this article we analyzed the problems of repair material compatibility with damaged surface of concrete and reinforced concrete structures, and specified the types of compatibility, as well as the properties, that need to be considered when choosing a compatible repair materials and repaired concrete.

1. Król M. Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych // Pkzegląd budowlany 3/2009. –S.30-36.
2. Czarniecki L., Emmons P.H. Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement, Kraków 2002.
3. Morgan D. Compatibility of concrete repair materials and systems// Constr. and Build. Mater. 1996, vol.10, №1, p.57-67.
4. Кулезнев В.Н. Состояние теории совместимости полимеров // Многокомпонентные полимеры /под ред.Р.Г.Гонда. –М.:Химия, 1974. –328 с.
5. Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом обеспечения совместимости материалов. М., ОАО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (ОАО ЦНИИС), 2010.
6. Ремонт и восстановление железобетонных конструкций с применением полимерцементных составов бюллетень Construction Chemicals, 04 [04], 2008. –С.14-15.