

УДК 691.53

© *И.В. Барабаш*, д.т.н., проф.

А.В. Даниленко, аспирант

С.А. Кровяков, к.т.н., доц.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

E-mail: oazis- oazis- oazis @mail.ru

© *I.V. Barabash*, Dr.of since., Prof.

A. Danilenko, post-graduate student

S.A. Kroviakov, Ph.D.

(Odessa State Academy of Construction and Architecture)

E-mail: oazis- oazis- oazis

@mail.ru

Строительные растворы на механоактивированном вяжущем с карбонатным наполнителем

Mortars with mechanically activated on binder filled with carbonate

Рассматривается возможность применения тонкомолотого известняка в качестве карбонатного наполнителя в строительных растворах. Механическая активация вяжущего в присутствии суперпластификатора С-3 позволяет повысить физико-механические и технологические характеристики строительных растворов при пониженном расходе клинкерной составляющей.

Ключевые слова: строительные растворы, карбонатный наполнитель, механоактивация, расслаиваемость.

The possibility of the use from fine limestone as carbonate filler in mortars. Mechanical activation of the binder in the presence of a super-plasticizer S-3 improves the physical, mechanical and technological characteristics of mortars at a reduced flow rate of clinker component.

Keywords: building mortars, carbonate filler, mechanical activation, separation of the layers.

Известняк-ракушечник является распространенным природным камнем в южном регионе Украины, при этом отходы его камнепиления доступны и дешевы. На данный момент накоплен достаточно существенный опыт по применению молотого известняка в строительных материалах и конструкциях [1,2]. Известно, что тонкодисперсные частицы известняка могут выполняют роль смазки, располагаясь в пространстве между

зернами цемента [3]. Известняковый наполнитель также способствует улучшению теплотехнических характеристик кладочных и штукатурных растворов [4]. Помимо того, известняк в цементных композициях не полностью инертен. Он химически взаимодействует с минералами цемента, способствуя увеличению прочности контакта между наполнителем и матрицей [3]. Однако практически отсутствует информация о возможности применения молотого известняка в составе механоактивированных вяжущих [5] и о возможности применения таких вяжущих в сочетании с современными добавками, в частности с С-3.

Эксперимент проводился по оптимальному плану типа «треугольники на квадрате» с пятнадцатью опытными точками [6]. Выбор смесового плана позволяет исследовать влияние на строительный раствор не только количества наполнителя, но и его удельной поверхности, что существенно расширяет область возможных положительных результатов.

В качестве смесовых факторов принята удельная поверхность известняка: $v_1 - 200 \text{ (м}^2\text{/кг)}$, $v_2 - 400 \text{ (м}^2\text{/кг)}$, $v_3 - 600 \text{ (м}^2\text{/кг)}$ при условии суммы уровней факторов, равной единице.

Независимыми факторами были приняты:

- X_4 – количество наполнителя, $40 \pm 20\%$;

- X_5 – количество суперпластификатора С-3, $0.4 \pm 0.4\%$ от массы вяжущего. Помимо 15-ти наполненных известняком составов исследовались три контрольных состава без наполнителя, т.е. на портландцементе, и с количеством суперпластификатора 0, 0.4 и 0.8 % от массы цемента.

Использовался портландцемент марки 500 Каменец-Подольского цементного завода и песок Никитовского карьера ($M_{кр}=2.2$). Соотношение вяжущего, в том числе наполненного, с песком 1:1.2 по массе. Исследования проводились на двух аналогичных сериях образцов: первой

– с применением механоактивации вяжущего в трибоактиваторе [5], второй (контрольной) – по традиционной технологии.

С технологической точки зрения важно проанализировать изменение водовяжущего (В/В) отношения в данных смесях при варьировании смесевых и независимых технологических факторов. Подвижность раствора определялась по глубине погружения стандартного эталонного конуса, и составляла от 6 до 7 см [7]. Анализ полученных результатов показал, что в рамках факторного пространства эксперимента в наибольшей степени на В/В растворных смесей влияет количество добавки С-3. Составы без суперпластификатора в зависимости от вида и количества наполнителя показали уровень В/В контрольных составов от 0.58 до 0.68, активированных составов от 0.54 до 0.66. Введение добавки С-3 приводит к снижению В/В соответственно до 0.48-0.57 на контрольных составах, а на активированном вяжущем до 0.43-0.47.

Увеличение доли наполнителя в вяжущем с 20 до 40% снижает В/В на 8-15%, причем более ощутимо для составов без суперпластификатора. Это говорит о некотором пластифицирующем эффекте известняка. Механоактивация позволяет существенно снизить В/В растворных смесей за счет активации вяжущего [5]. Так, при сохранении технологичности активированные смеси имели на 8..15% меньшую водопотребность чем аналогичные контрольные составы.

Расслаиваемость является важной технологической характеристикой для смесей большинства композиционных строительных материалов, а для строительных растворов, в особенности, штукатурных, сохранение однородности смеси является одним из основных показателей качества [8]. Показатель расслаиваемости (П) исследованных строительных растворов определялся согласно ДСТУ Б В.2.7-239:2010 (Розчини будівельні. Методи випробувань).

По результатам полученных в 15-ти экспериментальных точках каждой из серий данных (к – контроль, м – механоактивация) были построены экспериментально-статистические (ЭС) модели со всеми значимыми оценками коэффициентов, отображающая влияние состава известнякового раствора на расслаиваемость смеси:

$$\begin{aligned}
 \Pi_m = & 2.92 \cdot v_1 - 0.21 \cdot v_1 \cdot v_2 \pm 0 \cdot v_1 \cdot v_3 - 0.6 \cdot v_1 \cdot x_4 - 0.2 \cdot v_1 \cdot x_5 + 0.8 \cdot x_4^2 - 0.09 \cdot x_4 \cdot x_5 \\
 & + 3.02 \cdot v_2 \quad + 0.605 \cdot v_2 \cdot v_3 - 0.436 \cdot v_2 \cdot x_4 - 0.3 \cdot v_2 \cdot x_5 - 0.06 \cdot x_5^2 \\
 & + 3.1 \cdot v_3 \quad - 0.55 \cdot v_3 \cdot x_4 - 0.01 \cdot v_3 \cdot x_5
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 \Pi_k = & 3.44 \cdot v_1 - 0.8 \cdot v_1 \cdot v_2 - 0.3 \cdot v_1 \cdot v_3 - 0.35 \cdot v_1 \cdot x_4 - 0.065 \cdot v_1 \cdot x_5 + 0.71 \cdot x_4^2 - 0.09 \cdot x_4 \cdot x_5 \\
 & + 3.7 \cdot v_2 \quad - 0.6 \cdot v_2 \cdot v_3 - 0.55 \cdot v_2 \cdot x_4 - 0.065 \cdot v_2 \cdot x_5 - 0.24 \cdot x_5^2 \\
 & + 3.71 \cdot v_3 \quad - 0.5 \cdot v_3 \cdot x_4 \pm 0 \cdot v_3 \cdot x_5
 \end{aligned} \quad (2)$$

По моделям (1) и (2) были построены диаграммы в виде «треугольники на квадрате» [6] (а – механоактивация, б – контроль), показанные соответственно на рис.1

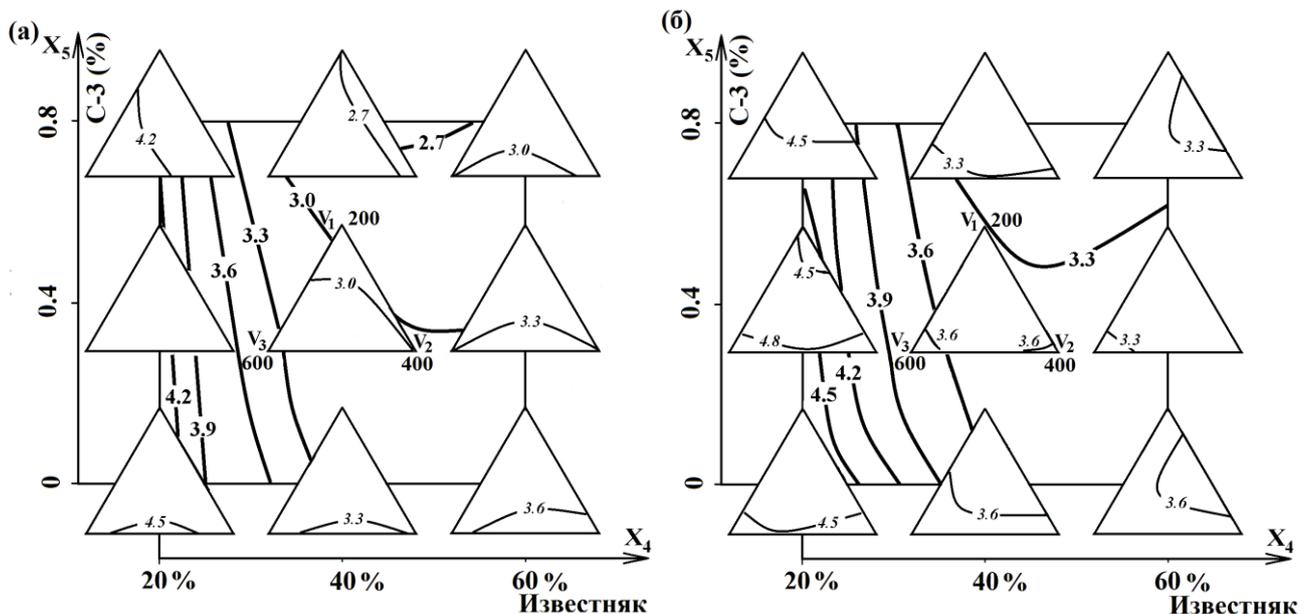


Рис.1. Влияние варьируемых факторов состава на расслаиваемость, %.

Анализ полученных ЭС-моделей и построенных по ним диаграмм позволяет отметить, что в рамках факторного пространства эксперимента в наибольшей степени на расслаиваемость растворных смесей влияет количество известнякового наполнителя. Основной эффект наблюдается

при увеличении количества наполнителя от 20 до 40% – расслаиваемость механоактивированных составов снижается на 20..25%, а контрольных составов на 30..35%. Величина удельной поверхности наполнителя оказывает влияния на значение расслаиваемости в пределах 5..9%, однако есть некоторая тенденция меньшей расслаиваемости смесей при использовании наполнителя с удельной поверхностью 200 м²/кг.

Если же сравнивать расслаиваемость составов с наполненным вяжущим и данный показатель для растворов на портландцементе, то можно отметить весьма важный факт, что наличие в смеси уже 20..25% молотого известняка практически вдвое снижает расслаиваемость (при аналогичном количестве пластификатора). При этом данная тенденция аналогична как для активированных, так и для контрольных составов – в первом случае величина P_k снижается с 7.1..8.8% до 4.0..4.5%, а во втором с 7.9..9.8% до 4.5..5.0%.

За счет введения 0.8% добавки С-3 (при содержании молотого известняка в вяжущем 20..35%) расслаиваемость снижается на 4..6%, а при количестве известняка 40% и более – на 6..10%. Положительный эффект суперпластификатора можно объяснить тем, что при общем снижении количества воды затвердения улучшается равномерность ее распределения в смеси.

Также важно отметить, что растворные смеси на активированном вяжущем в целом показали меньшую расслаиваемость по сравнению с контрольными. Данный эффект объясняется, прежде всего, более низкой водопотребностью смесей за счет применения активации (раздельной технологии приготовления).

Ранняя прочность является важной характеристикой для всех строительных растворов, а для штукатурных в особенности, поскольку данный показатель во многом обеспечивает адгезию в условиях быстрой потери влаги на основании и удобство работы при больших штукатурных

слоях. Прочность в обеих сериях (механоактивация и контроль) контролировалась на 2-е сутки.

Влияния варьируемых факторов ($V_1 - V_3, X_4, X_5$) на прочность при сжатии известнякового раствора в 2-х суточном возрасте отражено в ЭС-моделях (3) и (4).

$$\begin{aligned}
 R_{b2,м}(\text{МПа}) = & 6.68 \cdot v_1 + 4.749 \cdot v_1 \cdot v_2 - 1.798 \cdot v_1 \cdot v_3 - 2.617 \cdot v_1 \cdot x_4 + 0.626 \cdot v_1 \cdot x_5 \pm 0 \cdot x_4^2 - 0.721 \cdot x_4 \cdot x_5 \\
 & + 8.18 \cdot v_2 - 10.668 \cdot v_2 \cdot v_3 - 3.571 \cdot v_2 \cdot x_4 + 0.580 \cdot v_2 \cdot x_5 - 1.158 \cdot x_5^2 \\
 & + 8.80 \cdot v_3 - 4.287 \cdot v_3 \cdot x_4 + 0.549 \cdot v_3 \cdot x_5
 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 R_{b2,к}(\text{МПа}) = & 7.505 \cdot v_1 + 1.703 \cdot v_1 \cdot v_2 - 4.55 \cdot v_1 \cdot v_3 - 3.1 \cdot v_1 \cdot x_4 \pm 0 \cdot v_1 \cdot x_5 - 0.42 \cdot x_4^2 - 0.302 \cdot x_4 \cdot x_5 \\
 & + 6.343 \cdot v_2 - 3.986 \cdot v_2 \cdot v_3 - 1.61 \cdot v_2 \cdot x_4 - 0.072 \cdot v_2 \cdot x_5 - 1.35 \cdot x_5^2 \\
 & + 7.537 \cdot v_3 - 2.73 \cdot v_3 \cdot x_4 + 0.38 \cdot v_3 \cdot x_5
 \end{aligned} \quad (4)$$

На рис.2 показаны построенные по приведенным выше ЭС-моделям диаграммы.

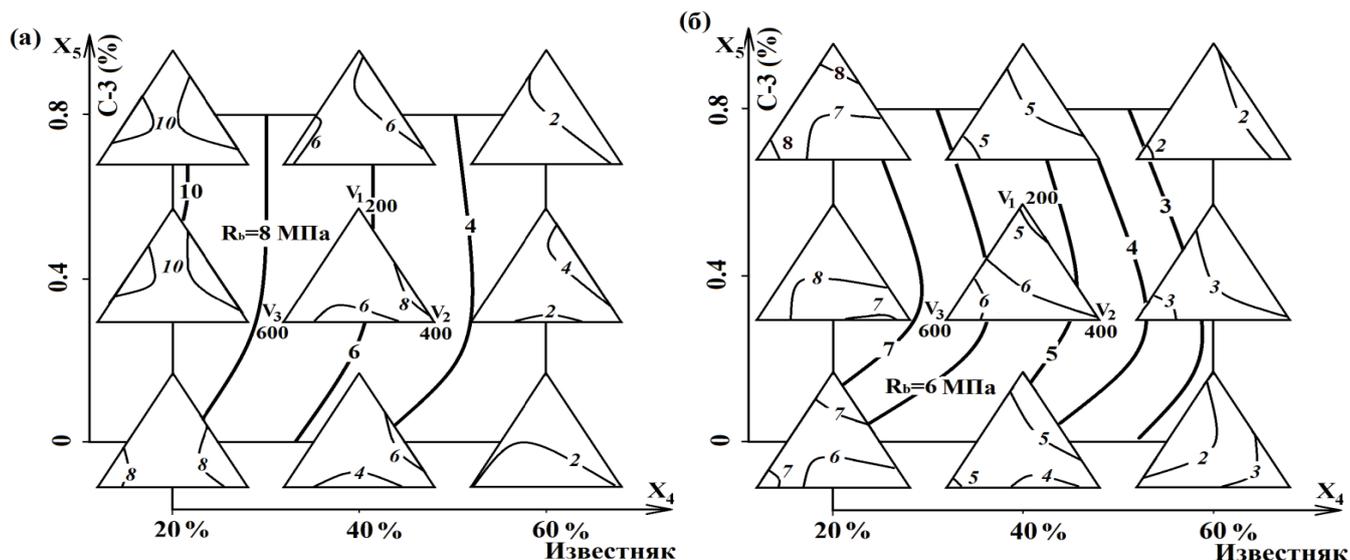


Рис.2. Влияние варьируемых факторов состава на прочность в 2-х суточном возрасте (а- механоактивация, б- контроль), МПа.

Как видно из диаграмм, увеличение доли известнякового наполнителя в вяжущем предсказуемо снижает величину ранней прочности композитов ввиду уменьшения количества клинкерной составляющей. При этом в границах факторного пространства эксперимента снижение прочности происходит практически пропорционально увеличению дозировки

наполнителя. Величина удельной поверхности наполнителя несущественно влияет на величину ранней прочности раствора – при изменении степени размола применяемого известняка прочность в 2-х суточном возрасте контрольных составов изменяется в пределах 1 МПа, у активированных составов на 2 МПа.

За счет введения суперпластификатора С-3 прочность раствора в 2-х суточном возрасте повышается, однако характер влияния добавки для раствора на активированном вяжущем несколько отличается по сравнению с контролем. В растворах, приготовленных по традиционной технологии, введение вместе с водой затворения в количестве 0.4-0.5% С-3 вызывает повышение прочности на 1-1.5 Мпа. Дальнейшее увеличение дозировки суперпластификатора приводит к снижению прочности. Это может быть объяснено эффектом действия добавки – т.е. при снижении количества воды затворения происходит замедление твердения. Характерно, что более явно положительное влияние С-3 проявилось у составов с меньшим количеством наполнителя, т.е. при большем содержании клинкерной составляющей. В растворах на механоактивированных вяжущих наибольшая прочность наблюдалась при большем количестве С-3, вплоть до 0.5-0.8% в составах с минимальным количеством наполнителя. Это объясняется ускоряющим действием активации, которое компенсирует замедление твердения при введении большого количества суперпластификатора и соответственно позволяет проявиться положительному влиянию водоредуцирования уже на ранних сроках твердения.

Механоактивация ощутимо улучшает прочностные свойства растворов на вяжущем с карбонатным наполнителем. Так, в возрасте 2-х суток раствор на активированном вяжущем имеют на 1..3 МПа большую прочность по сравнению с контрольными.

Сравнение ранней прочности раствора на вяжущем с карбонатным наполнителем с раствором на бездобавочном портландцементе показывает, что замена части клинкерной составляющей наполнителем приводит прочность к примерно пропорциональному снижению прочности.

В целом можно сделать вывод о положительном влиянии примененных решений на технологические и прочностные свойства раствора. Так, введение в вяжущее до 40% известнякового наполнителя и 0.8% пластификатора С-3 при дополнительном использовании механоактивации позволяет значительно улучшить однородность растворных смесей и тем самым повысить их технологичность. При этом наибольшую роль в снижении раскраиваемости смеси играет применение молотого известняка. Величина удельной поверхности использованного наполнителя при этом не оказывает существенного влияния на эффективность его применения как стабилизирующего компонента. За счет использования активированного вяжущего с карбонатным наполнителем можно добиться необходимого уровня физико-механических характеристик раствора при относительно малом расходе клинкерной составляющей. Предлагаемые растворы могут быть использованы для реконструкции зданий со стенами из камня-ракушечника. Их применение позволит снизить риск отслаивания отделочного слоя от слабого основания.

Список литературы

1. *Федоркин С.И.* Новые направления переработки известняковых отходов камнедобычи / С.И. Федоркин // Труды Крымской Академии наук: научно-практический сборник. Вып. 1. — Симферополь: Таврия, 1998. — С. 83–86.
2. *Еременок П.Л.* Использование известняковых песков из низкопрочных пород в конструкционных бетонах / П.Л. Еременок, Ю.А. Басый // Изд-во Киевской ВА ВПВО — К.: 1981. — 59с.

3. *Маилян Р.Л.* Бетон на карбонатных заполнителях / Р.Л. Маилян // Изд-во Ростовского университета, 1967. – 276с., ил.

4. *Барабаш И.В.* Повышение энергоэффективности кладочных растворов с применением известняка - ракушечника / И.В. Барабаш, С.А. Кровяков, А.В. Даниленко // Збірник доповідей науко-практичної конференції «Енергозбереження у міському будівництві та житлово-комунальній сфері». – Одеса: друкарня ОДАБА, 2013 – С.13-17.

5. *Барабаш І.В.* Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин / І.В. Барабаш // Навч. посібник. — Одеса: Астропрінт, 2002. — 100 с.

6. *Вознесенский В.А.* Численные методы решения строительнотехнологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков // — К.: Вища школа, 1989. — 327 с.

7. *Соломатов В.И.* Интенсивная раздельная технология приготовления бетонной смеси / В.И. Соломатов., А.И. Адылходжаев., Б.Г. Салихов // Ташкент: УзНИИНТИ, 1990. —51с.

8. Строительное материаловедение/ [П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева, В.Б. Барановский, М.А. Кочевых и др.] — Киев: Основа, 2007. — 698с.