

УДК 691.342

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНОПОЛИМЕРОВ**Воронков О.Н., Тлехусеж М.А.***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар,
e-mail: voronkov.kubstu@mail.ru*

Бетон – один из важнейших строительных материалов. Его широко применяют во всех странах для возведения самых разнообразных объектов. Однако обычный бетон содержит в своей структуре множество пор и капилляров, которые значительно ухудшают его физические и химические свойства. Эти существенные недостатки бетона можно устранить путем пропитки готового бетона различными мономерами с последующей полимеризацией их в структуре готового изделия. Результатом подобного дисперсного армирования является значительное упрочнение бетона. В данной работе проведен анализ результатов исследований свойств специальных бетонов, получаемых в результате пропитки и полимеризации мономера в структуре исходного материала. Установлено, что получаемые бетонополимеры обладают лучшими, по сравнению с обычным бетоном, физико-химическими свойствами и эксплуатационными характеристиками, что дает возможность применять их в отечественной и зарубежной практике при производстве и восстановлении различных строительных конструкций. Применение таких бетонов постоянно расширяется в связи с возрастающими потребностями строительства. Сделаны выводы об изменениях и перспективе развития строительной индустрии в России и за рубежом.

Ключевые слова: бетонополимеры, дисперсное армирование, пропитка, полимеры**THE STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES
OF POLYMER CONCRETES****Voronkov O.N., Tlekhusezh M.A.***Kubansky State Technological University, Krasnodar, e-mail: voronkov.kubstu@mail.ru*

Concrete is one of the main materials used in all sectors of construction. This material is widely used in all countries for the construction of a wide variety of objects. However, ordinary concrete contains in its structure a lot of pores and capillaries, which significantly impair its physical and chemical properties. These significant disadvantages, which affect the terms and places of operation, can be eliminated by impregnating the finished concrete with different monomers, followed by polymerization in the structure of the finished concrete. As a result of dispersed reinforcement there is a significant hardening of the starting material. This article analyzes the results of studies of the properties of concrete polymers – special concrete obtained as a result of impregnation and polymerization of the monomer directly in the structure of the starting material. It is established that such materials have better physical and chemical properties and operational qualities in comparison with conventional concrete, which makes it possible to apply them in domestic and foreign practice in the production and restoration of various building structures. The use of such concretes is constantly expanding due to the increasing needs of builders. Conclusions about changes and prospects of development of the construction industry in Russia and abroad.

Keywords: polymer concretes, dispersed reinforcement, impregnation, polymers

Бетонополимеры представляют собой затвердевшие бетоны, пропитанные мономерами или жидкими олигомерами, которые после соответствующей обработки переходят в твердые полимеры, заполняющие поры и дефекты бетона [1].

Наиболее часто бетонополимеры получают, пропитывая бетон мономером с последующей его полимеризацией непосредственно в порах бетона. Самый применимый метод – термодисперсионный, по результатам которого в бетоне возникает особая структура, где полимер связывает различные участки бетона, плотно заполняя его дефекты. Происходит дисперсное армирование бетона. Подобная модификация структуры возможна благодаря наличию в бетоне разветвленной сети пор, капилляров, различных микродефектов, образующихся при формировании бетонных и железобетонных изделий, их твердении и в процессе эксплуатации. Дефекты

и поры снижают прочность бетона, а также его долговечность и стойкость к действию агрессивных сред, т.к. открывают последним доступ внутрь бетона [2, с. 118].

Для устранения недостатков могут быть использованы различные полимеры, например, эпоксидные и полиэфирные смолы, немодифицированные битумы, а также битумы, модифицированные синтетическими смолами. Наиболее часто в качестве мономеров применяют стирол C_8H_8 , метилметакрилат $C_5H_8O_2$, соединения на их основе, а также сополимерные материалы, из которых наибольшее распространение получили составы на основе мономеров акрилового и метакрилового ряда [3, с. 222].

Как показывают исследования, наиболее эффективна пропитка готовых бетонных и железобетонных изделий и конструкций различного состава [3, с. 222]. В результате происходит уплотнение структуры бетона полимером, и увеличивается противодей-

ствие ряду физико-химических факторов: в несколько раз возрастает прочность, значительно повышается морозостойкость и стойкость в агрессивных средах, улучшаются другие свойства. Важным преимуществом бетонополимеров является то, что последующей специальной обработке могут подвергаться практически все виды бетонов или различных капиллярно-пористых стройматериалов. При этом можно обрабатывать либо весь объем бетона, либо только его поверхность или отдельные зоны изделия с целью придания им необходимых свойств. В результате получают широкую гамму материалов, объединенных общим названием «бетонополимеры» [2].

Свойства бетонополимеров

При пропитке бетона мономером с последующей полимеризацией его в теле бетона в материале возникает особая структура, которая состоит из затвердевшего цементного камня, скрепляющего зерна заполнителя в единый монолит, и разветвленной системы нитей и включений полимера.

Полимер заполняет поры и капилляры цементного камня, заполнителя и контактной зоны между ними, делая их газо- и водонепроницаемыми. Полимер полностью заполняет мелкие поры, в крупных порах вследствие усадки мономера при полимеризации могут возникать усадочные раковины и пустоты в центре поры, однако эти пустоты являются замкнутыми, а поры – непроницаемыми для жидкостей и газов. Полимер в отдельных порах связан между собой тончайшими нитями, проходящими через капилляры цементного камня. В большинстве случаев полимер не взаимодействует с цементным камнем, однако отдельные полимеры могут вступать в физико-химиче-

ское взаимодействие с компонентами бетона. Обычно полимер как бы заклеивает дефекты структуры цементного камня, заполнителя и контактной зоны и связывает большим количеством нитей различные участки бетона, повышая их сопротивление нагрузке и трещиностойкость. В результате пропитки бетона мономером и его полимеризации могут быть получены различные внутренние структуры материала: блокированная, строчная и сетчатая [2, с. 131] (рис. 1).

По сравнению с исходными составами прочность при сжатии у бетонополимера возрастает в 2–10 раз (табл. 1., табл. 2). Это увеличение тем больше, чем выше содержание полимера в бетоне (рис. 2). Прочность при изгибе и растяжении также существенно увеличивается [3, с. 223] (табл. 1).

На прочность бетонополимера влияют структура, прочность (табл. 3) и влажность (рис. 3) исходного бетона, вид, состав и свойства пропиточного состава, режимы сушки, вакуумирования, пропитки материала и полимеризации мономеров, а также содержание полимера в порах бетона. Прочность бетонополимера в значительной степени зависит от содержания полимера в порах бетона (рис. 2). Для изучения этой зависимости пропитке подвергали бетон марки М200 с различной исходной влажностью. В результате получали материал с различной степенью заполненными полимером пораами, т.е. с различным значением привеса полимера и соответственно с разной прочностью. Прирост прочности увеличивался при более полном заполнении структуры полимером. Аналогичные зависимости были получены и для других бетонов [4, с. 195]. Таким образом, с увеличением содержания полимера в бетоне прочность бетонополимера возрастает [5, с. 336].

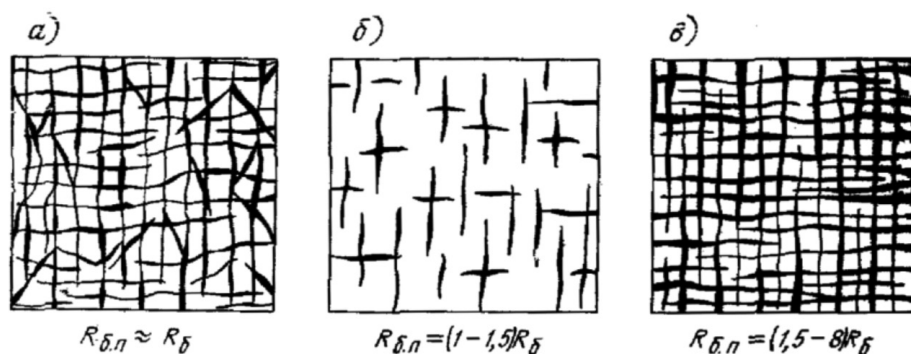


Рис. 1. Структура бетонополимеров: а – блокированная, б – строчная, в – сетчатая:
а) Прочность бетонополимера ($R_{б.п}$) примерно равна прочности исходного бетона ($R_б$);
б) Прочность бетонополимера ($R_{б.п}$) в 1–1,5 раза выше прочности исходного бетона ($R_б$);
в) Прочность бетонополимера ($R_{б.п}$) в 1,5–8 раз выше прочности исходного бетона ($R_б$)

Таблица 1

Свойства бетонов и бетонополимеров

Показатель	Исходный бетон	Бетонополимер
Предел прочности, МПа		
При сжатии	30...50	100...200
При растяжении	2...3	6...19
При изгибе	5...6	14...28
Модуль упругости, МПа	$(2,5...3,5) \cdot 10^4$	$(3,5...5) \cdot 10^4$
Прочность сцепления с арматурой, МПа	1...2	10...18
Относительные деформации усадки	$50 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Относительные деформации ползучести	$(40...60) \cdot 10^{-5}$	$(6...8) \cdot 10^{-5}$
Водопоглощение, %	3...5	1
Электрическое сопротивление, Ом	10^5	10^{14}
Морозостойкость	F200	F5000
Коррозионная стойкость	Недостаточная	Высокая

Таблица 2

Улучшение свойств различных бетонов после пропитки полимерами

Виды бетонов	Прочность на сжатие, МПа	
	До обработки	После обработки
Обычный бетон	10...40	80...150
Высокопрочный бетон	50...70	150...200
Керамзитобетон	3...15	30...90
Газобетон	1...8	15...90
Гипсобетон	15...22	80...92
Гипсоцементобетон	30	140
Силикатный бетон	30...50	100...200

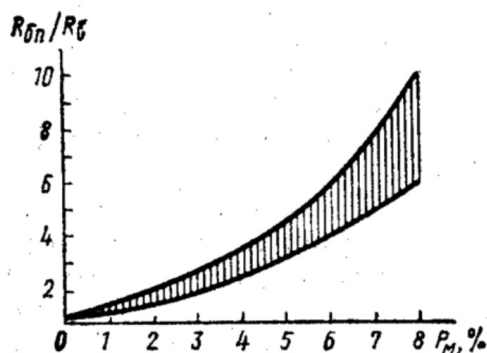


Рис. 2. Зависимость прочности бетонополимера от содержания полимера: $R_{бп}/R_{б}$ – относительная прочность бетонополимера; P_m – содержание полимера в бетоне

Для полной пропитки тяжелого бетона, который имеет среднюю плотность свыше 1800 кг/м^3 , необходимо 2-6 % мономера от массы исходного бетона. Для полной пропитки легкого бетона, который имеет среднюю плотность не более 1800 кг/м^3 – до 30-68 %.

Таблица 3

Влияние начальной прочности бетона на прочность бетонополимера

Прочность бетона до пропитки, МПа	Содержание полимера в бетоне, %	Прочность бетонополимера, МПа	Коэффициент упрочнения
40	5	110	2,75
30	5,5	4	4
20	6	130	6,5

Одной из составляющих процесса производства бетонополимеров является сушка исходного бетона до влажности 0,1...0,2 % по массе при температуре 105...150 °С. Чем суше бетон – тем больше мономера заполнит его поры и тем большей будет прочность полученного материала (рис. 3).

Обращает на себя внимание исключительно высокая коррозионная стойкость этого материала к различным жидким агрессивным средам: солям, щелочам и кислотам. В сульфатных, магниевых, солевых и щелочных средах бетонополимер под нагрузкой также практически не обнаруживает признаков деструкции (табл. 4).

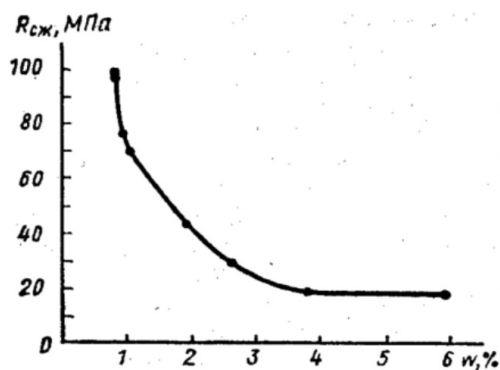


Рис. 3. Зависимость прочности бетонополимера от влажности бетона в момент начала пропитки мономером: $R_{сж}$ – прочность бетонополимера при сжатии; w – влажность

Таблица 4

Стойкость бетонополимера, пропитанного метилметакрилатом, в агрессивных средах

Водные растворы	Прочность образцов, МПа при длительности испытаний, сут.			
	30		360	
	Ризг.	Рсж.	Ризг.	Рсж.
Na_2SO_4 , $C = 12200$ мг/л	31	74	33	75
MgCl_2 , $C = 5040$ мг/л	34	94	36	95
NaOH , $C = 150$ мг/л	31	87	30	89
MgSO_4 , $C = 70$ мг/л	33	91	34	94

При необходимости возможна поверхностная пропитка бетона, а также пропитка отдельных частей и участков конструкций с целью уплотнения и упрочнения бетона, повышения плотности защитного слоя арматуры и ее сохранности. Это так называемая зональная пропитка и она заслуживает особого внимания. При небольшом расходе мономера ($1,5 \dots 3$ кг/м² бетона) такая обработка обеспечивает значительное (в несколько раз) повышение морозостойкости, коррозионной стойкости и улучшение других свойств конструкций и изделий, в том числе изготовленных из монолитного и легкого бетона и железобетона [2, с. 119].

Полимеры являются материалами, прочность которых при нагреве с выше 110°C – 200°C начинает уменьшаться. Вследствие этого целесообразно использовать специальные термостойкие пропиточные составы. При остывании бетонополимера ниже 0°C его прочность увеличивается. Это обусловлено как повышением прочности полимера при уменьшении температуры, так и тем, что полимер имеет больший температурный коэффициент линейного расширения, чем

бетон, и при остывании, сжимаясь, как бы обжимает минеральный скелет, помогая ему работать под нагрузкой [5, с. 337].

Полимер – дорогостоящая составляющая бетонополимера, поэтому наиболее пригодны пропитке те составы, в которых каждый процент введенного полимера обеспечивает максимальное повышение прочности. Это свойство можно ориентировочно оценить с помощью коэффициента эффективности (1):

$$K_{\text{эф.}} = \frac{\Delta R}{\Pi} = \frac{(R_{\text{пб}} - R_{\text{б}})}{\Pi}, \quad (1)$$

где ΔR – прирост прочности, полученный вследствие пропитки и последующей полимеризации, МПа; Π – содержание полимера в бетоне.

В тяжелом бетонополимере $K_{\text{эф.}} = 10 \dots 20$ МПа/%, т.е. каждый процент полимера повышает прочность бетона на $10 \dots 20$ МПа. В обычном бетоне для такого прироста прочности требуется около 100 кг цемента [5, с. 338].

В первую очередь целесообразно производить обработку полимером для повышения долговечности изделий, работающих в суровых климатических или агрессивных условиях, а также для получения изделий с особыми свойствами (износостойких, электроизоляционных, электропроводимых, декоративных, газонепроницаемых). Широко используют пропитку полимерными составами при ремонте и восстановлении бетонных и железобетонных изделий [5, с. 338-339].

Рынок стройматериалов в России сегодня претерпевает большие изменения как за счет использования иностранных разработок, так и за счет освоения производства отечественными производителями. Дальнейшее внедрение достижений химии и физики в процесс создания новых материалов позволит получить новую высококачественную продукцию с разнообразными улучшенными свойствами. Расчеты ученых показывают, что такое развитие строительной индустрии имеет высокую экономическую и практическую эффективность [4].

Список литературы

1. Полимербетоны [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Полимербетон> (дата обращения 10.12.2018).
2. Шевченко В.А. Технология специальных бетонов. Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2012. 202 с.
3. Бердов Г.И. Химия (специальные разделы для направления «Строительство») / Г.И. Бердов, В.Н. Зырянова, Э.А. Кучерова и др.; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2011. 187 с.
4. Баженов Ю.М. Бетонополимеры. М.: Стройиздат, 1983. 472 с.
5. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2011. 528 с.