УДК 666.972.16

О НОВОЙ ГИПОТЕЗЕ ПЛАСТИЧНОСТИ В ТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРУЗИОННОГО ФОРМОВАНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ

[1]Байджанов Д.О., [2]Нугужинов Ж.С., [3]Малышев О.А., [1]Кропачев П.А., [1]Дивак Л.А.

[1]Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: kargtu@kstu.kz;
[2]Казахстанский многопрофильный институт реконструкции и развития, Караганда, e-mail: kazmirr@mail.ru;
[3]ЗАО «СТРИМЕР-ЦЕНТР», Москва, e-mail: omalyshev57@mail.ru

Устойчивость развития новых технологий в строительной индустрии тесно связана с расширением понимания процессов и принципов, реализуемых для достижения высоких показателей качества изделий, производимых по экструзионной технологии бетона с применением различных химических добавок. Современная инструментальная и техническая оснащенность ведущих институтов, компаний и учебных заведений наилучшим образом способствует достижению целей, стоящих перед исследователями, и позволяет получать ответы на важнейшие вопросы. В настоящей статье предпринята попытка теоретического описания особенностей регулирования пластичности бетонных смесей в технологии экструзионного формования путем применения химических добавок-модификаторов. Проблема состоит в том, что общепринятые теоретические представления механизма пластифицирующего действия химических добавок для различных видов бетонов и технологий не в полной мере позволяют объяснить характер и не представляют возможным прогнозирование регулирующего действия химических добавок для жестких бетонных смесей технологии экструзионного формования. Обобщение результатов практической работы по экструзионной технологии изготовления бетонных изделий позволило сформулировать сущность новой гипотезы пластичности бетонной смеси в экструзионной технологии бетонов.

Ключевые слова: бетонная смесь, модификаторы, экструзионный метод, суперпластификаторы, фазовый переход, гидрофобизатор

ABOUT NEW HYPOTHESIS OF PLASTICITY IN EXTRUSION MOLDING TECHNOLOGY OF CONCRETE MIX

[1]Baydzhanov D.O., [2]Nuguzhinov Z.S., [3]Malyshev O.A., [1]Kropachev P.A., [1]Divak L.A.

[1]Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: kargtu@kstu.kz;
[2]Kazakhstan multidisciplinary institute of reconstruction and development at KSTU, Karaganda, e-mail: kazmirr@mail.ru;
[3]ZAO «Strimer – Centr», Moscow, e-mail: omalyshev57@mail.ru

The sustainability of new technologies in the construction industry, which is closely associated with the expansion of understanding processes and principles, implemented to achieve high levels of quality products manufactured by concrete extrusion technology using of various chemical additives. The modern instrumental and technical equipment of leading institutes, companies and educational institutions contributes to the goals faced by researchers, and allows receiving answers to important questions. In this paper attempt a theoretical description of the features of plasticity regulation of concrete mixtures in extrusion molding technology, by using chemical additives and modifiers. The problem is that, generally accepted theoretical understanding of the mechanism of plasticizing action of chemical additives on concrete and various types of technology do not fully explain the nature and it is difficult to forecast the regulatory action of chemical additives for hard concrete mixes of extrusion molding technology. The summary results of practical work of extrusion technology of concrete products, enabled to formulate the essence of new hypothesis of plasticity of concrete in extrusion technology.

Keywords: concrete mix; modifiers, extrusion method, superplasticizers, phase translation, hydrophobizators (water-repellent agents)

Механизм действия суперпластификаторов большинство исследователей связывают с адсорбцией полярных молекул на поверхности гидратирующихся частиц цемента. Образование адсорбционного слоя приводит к дефлокуляции, изменению электрокинетического потенциала и, как следствие, к увеличению дисперсности твердой фазы и сил электростатического отталкивания [1, 2, 6, 7].

При определении механизма действия на свойства бетонных смесей таких химических добавок, как комплексные гидрофобно-пластифицирующие добавки считают, что сетчатый молекулярный слой из молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ) гидрофобизирующего компонента добавки, образующийся в результате адсорбции на поверхности гидратирующих цементных зерен, позволяет обеспечить пластичность бетонным смесям и, как показали наши опыты, не только для бетонных смесей традиционных технологий, но и для жестких бетонных смесей технологии экструзионного формования [8].

Пояснения механизма действия комплексной добавки «Murasan BWA 16» на основе ПАВ и полимеров германского концерна «MC-Bauchemie», предназначенной для вибропрессованных изделий, показывают, что он основан на образовании микропузырьков воздуха в бетонной смеси, что позволяет получить высокую плотность и связность вибропрессованных изделий и в дальнейшем приводит к повышению прочности и качества готовых изделий [5].

Целью данной работы является рассмотрение сущности новой гипотезы пластичности бетонной смеси в экструзионной технологии бетона и определение требований к химическим модификаторам.

По данной гипотезе для эффективной реализации экструзионной технологии изготовления бетонных изделий обязательным условием является необходимость при приготовлении жесткой бетонной смеси иметь в составе ингредиентов комплексной химической добавки как пластифицирующие, так и гидрофобизирующие компоненты.

Роль пластифицирующих компонентов – компенсирование водоредуцирующего действия путем обеспечения перехода от управления текучестью к управлению пластичностью бетонной смеси, позволяющей обеспечить наиболее компактную упаковку ингредиентов бетонной смеси при экструзионном формовании бетона.

Роль гидрофобизирующих компонентов – усиление пластичности бетонной смеси в зоне межингредиентных контактов при отсутствии или низком содержании связанной воды в зоне контакта, что также позволяет обеспечить наиболее компактную упаковку ингредиентов бетонной смеси при экструзионном формовании бетона.

Отсутствие одного из компонентов в составе комплексной химической добавки приведет к невозможности реализации экструзионной технологии производства бетонных изделий. Только при наличии двух вышеперечисленных компонентов в рационально подобранном составе комплексной добавки можно обеспечить эффективную реализацию экструзионной технологии изготовления бетонных изделий.

Адсорбция компонентов комплексной добавки (рис. 1) на посадочные площадки [4] цементных частиц происходит при сдержанной конкуренции молекул компонентов, обусловленной высокой вязкостью жесткой бетонной смеси, практическим отсутствием жидкой фазы и различной избирательной и адсорбционной активностью молекул этих компонентов. По данным В.Н. Юнга и Б.Д. Тринкера, к факторам, сдерживающим конкурентное действие молекул компонентов комплексной добавки, можно отнести и то, что существует различная адсорбционная способность по отношению к минералам цемента, например для лигносульфонатов кальция, располагающихся в следующем порядке: $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$, в то время, как по данным М.И. Хигеровича и В.Е. Байера, для гидрофобизирующих молекул не адсорбируются на: C_3A, но прочно фиксируются на других минералах в следующем порядке: $C_4AF > C_2S > C_3S$.

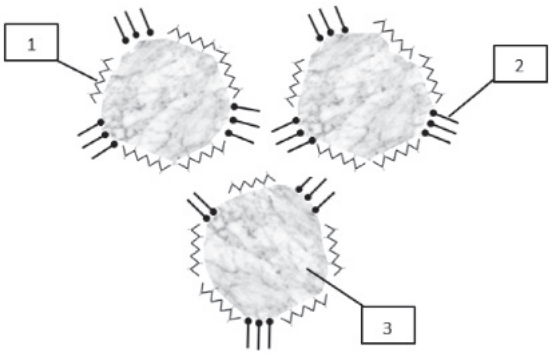

Рис. 1. Схематичный вид закрепления молекул комплексной добавки на поверхности зерен цемента:
1 – молекулы пластифицирующей добавки;
2 – молекулы гидрофобизирующей добавки;
3 – цементная частица

Результаты проведенных исследований показали, что при подготовке жестких бетонных смесей с В/Ц ≤ 0,35 расчётное количество ингредиентов комплексной добавки определяется так же, как и для состава обычного бетона, и остается в таком же количественном соотношении. Однако исследования взаимодействия компонентов бетонной смеси (рис. 2) на практике подтверждают положения предложенной новой гипотезы пластичности. При низком содержании воды в жесткой бетонной смеси действие пластифицирующих компонентов, обеспечивающее текучесть (удобоукладываемость), полностью отсутствует. В то же время при внешнем воздействии (объемном сжатии бетонной смеси) пластифицирующий компонент начинает обеспечивать в бетонной смеси пластические свойства, т.е. компонент, обеспечивающий текучесть, начинает работать как компонент, обеспечивающий пластичность бетонной смеси.

В процессе реализации экструзионной технологии пластичная бетонная смесь под давлением перемещается между зерен заполнителя (рис. 2) по плоскостям скольжения, заполняя межзерновое пространство и обеспечивая получение плотной упаковки.

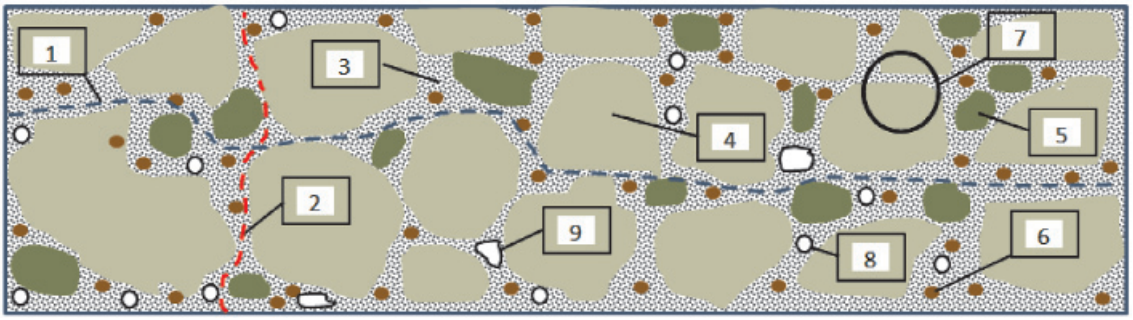

Рис. 2. Схематичный вид образования плоскостей скольжения в контактной зоне между компонентами бетонной смеси: 1 – условная горизонтальная плоскость скольжения; 2 – условная вертикальная плоскость скольжения; 3 – цементное тесто и микронаполнитель (зола, микрокремнезем); 4 – крупный заполнитель; 5 – средний заполнитель; 6 – песок; 7 – фрагмент контактной зоны; 8 – стабилизированные пузырьки воздуха; 9 – защемленный воздух бетонной смеси

Снижение поверхностного натяжения на границе раздела фаз воздух – жидкость, что имеет место при введении комплексной добавки, способствует устойчивой стабилизации пузырьков с ничтожно малыми размерами и с идеальной сферической формой (рис. 2, поз. 8). Такие пузырьки, в отличие от защемленного воздуха (рис. 2, поз. 9), распределяются по объему бетонной смеси, тем самым улучшая её физико-технические показатели.

По предложенной гипотезе, основную роль в формировании пластических свойств бетона экструзионного формования играют молекулы пластифицирующего компонента комплексной добавки, в то время как молекулы гидрофобизирующего компонента обеспечивают наличие плоскостей скольжения в зоне контакта пластифицированного цементного теста и заполнителей (рис. 3), а также усиливают пластичность и когезию бетонной смеси. Под внешним воздействием, сдавливанием молекулы гидрофобизатора, адсорбированные на поверхности цементных минералов, позволяют относительно свободно перемещаться компонентам бетонной смеси в плоскостях, параллельных взаимному контакту, одновременно сохраняя однородность бетонной смеси (за счет улучшенной когезии), путем удержания её компонентов в направлении вертикальном плоскостям скольжения.

Требования новой гипотезы пластичности бетонной смеси к составу и свойствам компонентов комплексной химической добавки являются критериями пластичности бетонной смеси в экструзионной технологии бетона.

Они позволяют:

– Объяснить практически все непонятные до настоящего времени явления пластичности бетонных смесей в экструзионной технологии бетона.

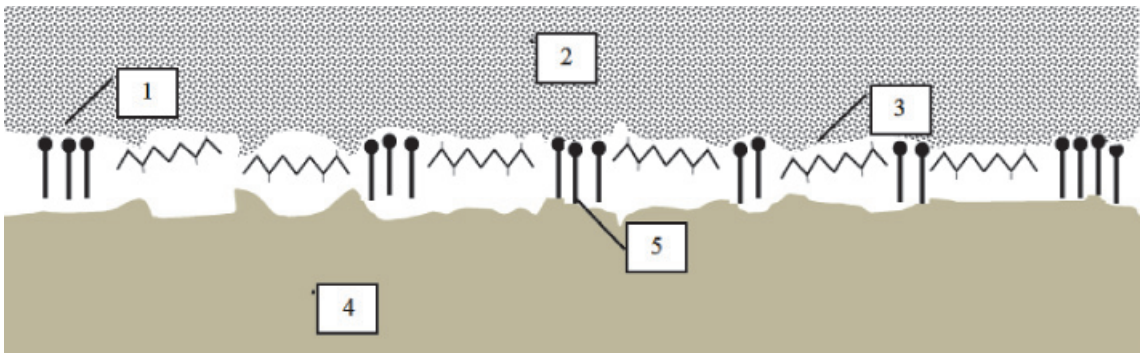

Рис. 3. Схематичный вид фрагмента контактной зоны между компонентами бетонной смеси: 1 – условная посадочная площадка для молекул гидрофобизирующего компонента комплексной добавки; 2 – пластифицированное цементное тесто; 3 – условная посадочная площадка для молекул пластифицирующего компонента комплексной добавки; 4 – фрагмент заполнителя бетонной смеси; 5 – условная плоскость скольжения, образованная молекулярным слоем гидрофобизирующего компонента комплексной добавки между пластичным цементным тестом и заполнителем бетонной смеси

С позиции предложенной гипотезы становится ясно, почему индивидуальное применение пластифицирующих компонентов добавки не позволяет реализовать технологию экструзионного формования бетонных изделий, а традиционные добавки – пластификаторы или суперпластификаторы – применяются только в сочетании с гидрофобизатором, и в таких условиях начинают вести себя как регуляторы пластичности бетонной смеси.

– Показать необоснованность широко используемых представлений, таких как:

«классификация химических добавок, модификаторов бетонных смесей и бетонов, определяется по основному признаку действия на их свойства». Практическая работа с жесткими смесями экструзионного формования показала, что в данном конкретном случае нет жесткой зависимости между основным действием химической добавки и её классификационным наименованием. Так, известный суперпластификатор С-3 в жесткой бетонной смеси в сочетании с гидрофобизирующей добавкой позволяет регулировать не подвижность бетонной смеси, а её пластичность.

«удобоукладываемость определяется подвижностью (текучестью) бетонной смеси в момент заполнения формы». Результаты исследований показали, что предназначенные для улучшения или даже принципиального изменения удобоукладываемости, такие химические добавки, как супепластификаторы, при значениях В/Ц ≤ 0,35 бетонной смеси не дают прогнозируемого результата.

«конкурентное действие компонентов комплексной химической добавки в процессе адсорбции её молекул на поверхности цементных частиц». В случае работы с жесткими бетонными смесями конкурентное действие компонентов добавки сдерживается отсутствием условий для относительно свободного перемещения молекул добавки к посадочным площадкам на зернах цемента, так как почти нет свободной воды.

«гидрофобно-пластифицирующие добавки позволяют регулировать удобоукладываемость и пластичность бетонных смесей». Если не обращать внимание на то, что компоненты гидрофобизирующих добавок имеют при определенных условиях PVT (объем, давление, температура) фазовый переход второго рода, то это означает, что молекулы гидрофобизирующего компонента обретают свойства кристаллических структур и вместо плоскостей скольжения можно получить абразивное действие.

– Понять сущность и механизм практического направления совершенствования пластификации жестких бетонных смесей в экструзионной технологии бетона.

Они представляют собой неуклонное выполнение требований, предъявляемых к необходимому по предложенной гипотезе составу и свойствам компонентов комплексной химической добавки.

– Прогнозировать результаты экструзионной технологии бетона.

Выполнение условий, изложенных в новой гипотезе, пластификации жестких бетонных смесей экструзионной технологии бетонов позволит реализовать возможности технологии экструзионного формования бетонов, запроектировать и получать бетонные изделия с прогнозируемыми характеристиками.

На основе сформулированной гипотезы был разработан состав гранулированной добавки с целью применения в экструзионной технологии бетона, который включает в свой состав пластифицирующий, гидрофобизирующий компонент и минеральный носитель (золу уноса ТЭС). Это обеспечивает формование бетонных изделий по экструзионной технологии с высоким качеством и заданными физико-техническими параметрами. Гранулированные комплексные добавки в экструзионной технологии бетона приводят не к увеличению воздухововлечения, а к снижению содержания воздуха в бетонной смеси, способствуют уменьшению размера и стабилизации пузырьков защемленного воздуха, более равномерному их распределению в объеме бетонной смеси.

Относительно перехода разжижающего действия суперпластификаторов в регулировании пластических свойств все пояснения базируются на классических представлениях физики и химии. Для разжижающего действия суперпластификатора на цементное тесто необходимым условием является наличие незначительного количества избыточной воды, она является так называемым элементом «смазки», однако в жестких бетонных смесях избыточного количества воды почти нет. Тогда в сочетании с гидрофобизирующей добавкой, при объемном сжатии бетонной смеси, компактная упаковка её компонентов происходит за счет образования плоскостей скольжения, образованных частоколом молекул гидрофобизатора на поверхности цементных минералов. По мере взаимного перемещения на поверхности взаимодействующих плоскостей скольжения встречаются участки с адсорбированной водой или тонкими водными пленками. Это позволяет и суперпластификатору проявить пластифицирующее действие на бетонную смесь. Надо

иметь в виду, что такое проявление изменений в характере действия пластифицирующей добавки возможно лишь при условии сочетания и одновременного применения двух видов вышеперечисленных компонентов в составе комплексной добавки.

Плоскости скольжения образуются на границе между метильными группами молекул гидрофобизатора, адсорбированных на цементных минералах, и сольватными оболочками цементных зерен и заполнителя. При внешнем воздействии на бетонную смесь происходит перемещение компонентов бетонной смеси, поскольку энергия электростатического взаимодействия между метильными группировками и сольватными оболочками заменена на более слабую коагуляционную связь. Образующиеся мельчайшие сферические пузырьки воздуха могут исполнять роль условных подшипников скольжения, улучшая условия экструзионного формования и создавая равномерное распределение передаваемого формовочной машиной усилия. Создание такой упорядоченной мелкопористой структуры со сферическими пузырьками не только не приводит к снижению прочности, а в ряде случаев дает её значительный прирост (~ на 25–60 %).

Свойства компонентов гидрофобизирующих добавок, исследованные с применением ИК МГТ, позволили установить наличие фазовых переходов второго рода у некоторых веществ, входящих в состав таких добавок, которые ранее были не известны. Полученные данные позволили ввести фундаментальные понятия физики и химии в основу новой гипотезы пластичности бетонных смесей, изложенную в настоящей публикации.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 253 с.

2. Байджанов Д.О., Бюнау Е.К., Малышев О.А. Особенности подбора химических модификаторов для экструзионной технологии бетонов // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 8. – С. 54–60.

3. Байджанов Д.О. Экструзионный бетон. Модифицированный (Теория и практика). – Караганда, КарГТУ, 2013. – 228 с.

4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1990. – 400 с.

5. Жиронкин В.В. Повышение качества формуемости вибропрессованных изделий // Технология бетонов. – 2008. – № 10 (27). – С. 57.

6. Иванов Ф.И., Москвин В.М., Батраков В.Г. и др. Добавки для бетонных смесей-суперпластификаторов С-3 // Бетон и железобетон. – 1979. – № 10. – С. 20.

7. Иванов Ф.М., Батраков В.Г., Лагойда А.В. Основные направления применения химических добавок к бетону // Бетон и железобетон. – 1981. – № 9. – С. 3–4.

8. Хигерович М.И., Байер В.Е. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. – М., 1979. – 124 с.

References

1. Bajdzhanov D.O., Bjunau E.K., Malyshev O.A. Osobennosti podbora himicheskih modi-fikatorov dlja jekstruzionnoj tehnologii betonov // Inzhenerno-stroitelnyj zhurnal, 2012. no. 8. pp. 54–60.

2. Ivanov F.I., Moskvin V.M., Batrakov V.G. i dr. Dobavki dlja betonnyh smesej-superplastifikatorov S-3 // Beton i zhelezobeton, 1979, no. 10. pp. 20.

3. Ivanov F.M., Batrakov V.G., Lagojda A.V. Osnovnye napravlenija primenenija himicheskih dobavok k betonu // Beton i zhelezobeton. 1981. no. 9. pp. 3–4.

4. Bazhenov Ju.M. Tehnologija betona. Uchebnoe posobie dlja VUZov. M., Izd-vo ASV, 2003. 500 p.

5. Higerovich M.I., Bajer V.E. Gidrofobno-plastificirujushhie dobavki dlja cementov, rastvorov i betonov. M., 1979. 124 p.

6. Zhironkin V.V. Povyshenie kachestva formuemosti vibropressovannyh izdelij. // In-formacionnyj nauchnotehnicheskij zhurnal. Tehnologija betonov, 2008. no. 10 (27). pp. 57.

7. Bajdzhanov D.O. Jekstruzionnyj beton. Modificirovannyj (Teorija i praktika). Ka-raganda, KarGTU, 2013. 228 p.

8. Batrakov V.G. Modificirovannye betony. M.: Strojizdat, 1990. 400 p.

Рецензенты:

Жакулин А.С., д.т.н., профессор кафедры «Строительство и ЖКХ», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда;

Кадыров А.С., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда.