

УДК 692.5 (691.328)

Л. А. РЯБИЧЕВА, В. В. ЗАСЬКО

Луганский национальный университет имени Владимира Даля

**ПРОЧНОСТЬ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО БЕТОНА,
ПОЛУЧЕННОГО ВИБРОПРЕССОВАНИЕМ**

Аннотация. В работе представлен сравнительный анализ прочности на сжатие бетона, дисперсно-армированного разным количеством микрочастиц, полученных из шлифовальных отходов жаропрочной стали. Образцы получали по двум схемам технологии: вибропрессование плоскими пуансонами и вибропрессование пуансонами с наклонной рабочей поверхностью. Установлено, что наибольшую прочность на сжатие имеют образцы, содержащие 10 % дисперсно-армирующей добавки, полученные по схеме вибропрессования со сдвигом.

Ключевые слова: дисперсно-армированная добавка, водоцементное отношение вибропрессование со сдвигом, прочность на сжатие.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Бетонные изделия в строительстве должны обладать высокой конечной плотностью, прочностью, низкой истираемостью, трещиностойкостью, безусадочностью, стойкостью к ударным нагрузкам [1]. Такие характеристики обеспечиваются свойствами исходных компонентов бетонной смеси и их соотношением между собой. При разработке новых строительных материалов для улучшения свойств бетонов используется дисперсное армирование [2]. На формирование структуры дисперсно-армированного бетона оказывает влияние количественное содержание армирующей добавки. В последнее время для увеличения межчастичных связей, плотности и прочности бетона используется вибропрессование, позволяющее повысить эксплуатационные свойства бетонов [3]. Роль давления прессования заключается в снижении водоцементного отношения и дополнительном приросте прочности прессованных бетонов, что обеспечивается за счет формирования более качественной структуры и, в частности, уменьшения радиуса пор, устранения макродефектов контактной зоны и дефектов, связанных с седиментационными процессами [1]. Уплотненное под давлением цементное тесто не проявляет обратимых тиксотропных свойств в результате резкого возрастания сил взаимодействия между частицами. Вызванное прессованием значительное объемное сжатие смеси приводит к возникновению структурных связей, обеспечивающих высокую начальную прочность бетона и чрезвычайно быстрый рост прочности во времени.

Целью работы является сравнительный анализ влияния количества дисперсно-армирующей добавки на прочность при сжатии бетона, полученного по схеме вибропрессование плоскими пуансонами и вибропрессование пуансонами с наклонной рабочей поверхностью (со сдвигом).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве вяжущего в исследованиях применяли портландцемент ПЦ 500-Д0 производства ВАТ «Донцемент» г. Амвросиевка Донецкого региона. Выбор данной марки портландцемента обусловлен отсутствием в его составе добавок, которые могут отрицательно сказаться на свойствах растворов смесей. Заполнителем для приготовления бетона служил песок для строительных работ Кондрашевского песчаного карьера и щебень для строительных работ ОАО «Успенский карьер» п. Волнухино Лутугинского района с максимальным размером зерен до 10 мм и с содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы до 25 %. Для регулирования свойств бетонной смеси применяли суперпластификатор СП-3. Для затворения смеси использовали питьевую воду.

В качестве армирующего компонента добавляли микрочастицы, полученные из шлифовальных отходов автоклапанов жаропрочной стали 40X10C2M, гранулометрический, химический состав и насыпная плотность приведены в работе [4]. Микрочастицы имели размеры: металлическая составляющая в пределах 40...70 мкм, неметаллическая (карбид кремния) – длина в среднем 3,32 мкм. Отходы добавляли к бетонной смеси в количестве 4,5; 10 и 15 %. Технология изготовления образцов состояла из следующих операций: заполнение формы и ее предварительное уплотнение; добавление бетонной смеси в форму и выравнивание ее поверхности. Вибропрессование бетонной смеси выполняли по двум вариантам: предварительно уплотненную смесь, находящуюся в форме, уплотняли пуансонами с плоскими рабочими поверхностями и с наклонными (прессование со сдвигом) (рисунок 1). Применение пуансонов с наклонной рабочей поверхностью позволило интенсифицировать действие сдвигающих напряжений для уплотнения бетонной смеси, повышения межчастичных связей, что обуславливало увеличение плотности и прочности на сжатие.

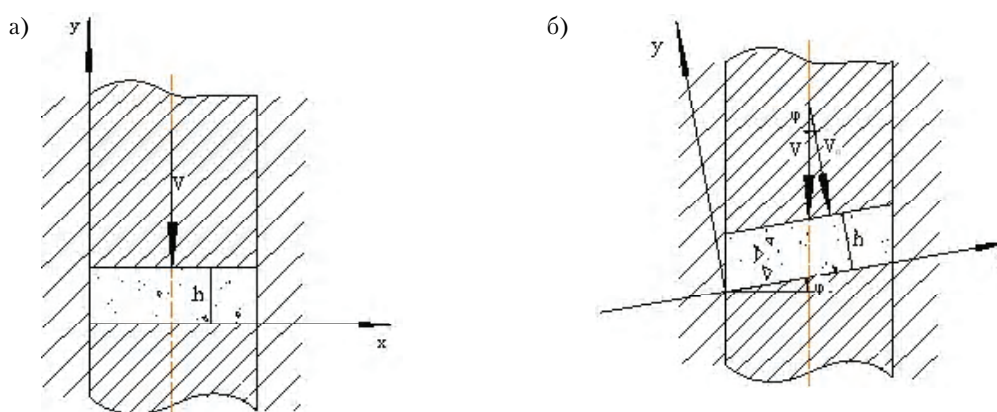


Рисунок 1 – Схема вибропрессования: а) плоскими пуансонами; б) пуансонами с наклонной рабочей поверхностью.

При выполнении эксперимента определили оптимальное значение водоцементного отношения и приняли его за основу при проектировании состава с армирующими добавками. В качестве расчетного водоцементного отношения принимали $В/Ц = 0,38$, при котором обеспечивается максимальная прочность как свежееотформованного бетона, так и бетона в возрасте 28 суток. Жесткость смеси при этом 50 с. При этом водоцементном отношении получена максимальная прочность контрольных образцов как свежееотформованного бетона, равная 0,48 МПа, так и бетона в возрасте 28 суток 43,1 МПа. Эта величина водоцементного отношения использована нами в последующих экспериментах при добавлении в контрольный состав бетона армирующей добавки.

Прочность на сжатие полученных по двум схемам вибропрессования образцов выполняли на испытательной машине усилием 1 000 кН на кубиках размером 100×100×100 мм в соответствии с ГОСТ 10180-2012. Число образцов в каждой серии испытаний принимали равным 6. Нагружение проводили непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения, при этом время нагружения образца до разрушения не превышало 30 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимали за разрушающую нагрузку.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рисунке 2 показано влияние армирующей добавки и водоцементного отношения на прочность при сжатии вибропрессованного бетона в возрасте 3 и 28-и суток при вибропрессовании плоским пуансоном. Максимальное значение прочности на сжатие вибропрессованного бетона как свежееотформованного, так и в возрасте 3 и 28-и суток при различном процентном содержании армирующей добавки обеспечивается водоцементным отношением 0,38, что подтвердило результаты расчетов оптимального водоцементного отношения у вибропрессованных бетонов обычного состава. При этом прочность при сжатии бетона зависит от количества добавки и с ее ростом увеличивается до 68 МПа в возрасте 28-и суток.

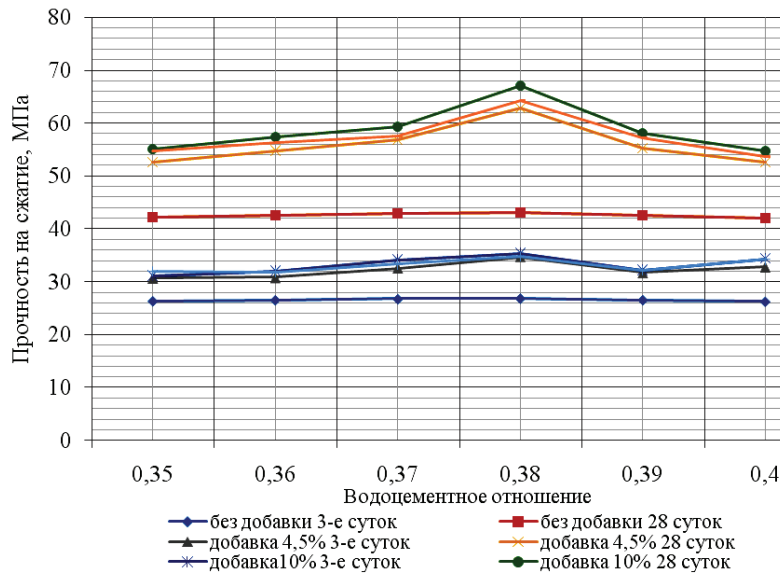


Рисунок 2 – Зависимость прочности на сжатие от водоцементного отношения в возрасте 3 и 28-и суток для бетонов с различным содержанием дисперсно-армирующей добавки.

На качество затвердевшего бетона существенно влияют те же факторы, что и в случае свежеприготовленной бетонной смеси, в частности, количество цемента, содержание воды, вид и объемная доля заполнителей, плотность упаковки [2]. Другими факторами влияния, связанными преимущественно с гидратацией цемента, является степень гидратации, реакционная способность вяжущего, а также сцепление между заполнителем и матрицей связующего. Максимальная плотность упаковки, оптимальное качество структуры и максимальная прочность при сжатии сырого, а также затвердевшего бетона обеспечивается только в сильно ограниченной области оптимального (для уплотнения) содержания воды. Такая тесная взаимосвязь свойств свежеприготовленного и затвердевшего бетона характерна для жесткой бетонной смеси, как и сильная зависимость всех этих свойств от количества воды.

Зависимость прочности на сжатие вибропрессованных бетонов от процентного содержания дисперсно-армирующей добавки на разных стадиях твердения представлена на рисунке 3. Максимальная величина прочности на сжатие, равная 67,1 МПа, получена при содержании добавки, равном 10 %. При большем содержании добавки прочность бетона в возрасте 28 суток уменьшается, но остается большей, чем в обычном бетоне.

Анализ показывает, что при введении в состав вибропрессованной бетонной смеси дисперсно-армирующей добавки в количестве 4,5 % от массы цемента прочность на сжатие увеличивается на 31,5 %, при количестве добавки 10 % – на 35,8 %, при количестве добавки 15 % – на 32,9 %. Коэффициент уплотнения бетонной смеси максимальный при содержании армирующей добавки 10 %.

Система «свежеприготовленная жесткая бетонная смесь» может быть описана при помощи взаимосвязей и законов механики грунтов. При этом решающее значение имеют следующие факторы: когезия и внутреннее трение между частицами, форма зерен и их сцепление, а также плотность упаковки [1]. В данном контексте цемент можно упрощенно рассматривать как инертный тонкодисперсный материал, от которого зависит водопоглощаемость смеси, а также ее уплотняемость.

Получаемая путем заполнения пустот плотность упаковки крупных и мелких заполнителей влияет на свойства затвердевшего жесткого бетона в гораздо большей степени, чем на свойства обычного бетона. При увеличении плотности упаковки в результате оптимально подобранного гранулометрического состава, водоцементного отношения и модификатора, связь между массой тонкого и грубого помола возрастает, продуктам реакции в результате гидратации цемента приходится заполнять меньше пустот и прочность возрастает.

Прочность бетона находится в прямой зависимости от плотности, которая формируется на стадии прессования. На величину плотности влияет ряд факторов: вид схемы прессования, осевая нагрузка, силы трения между частицами цементного теста, форма и размер частиц. Дополнительный

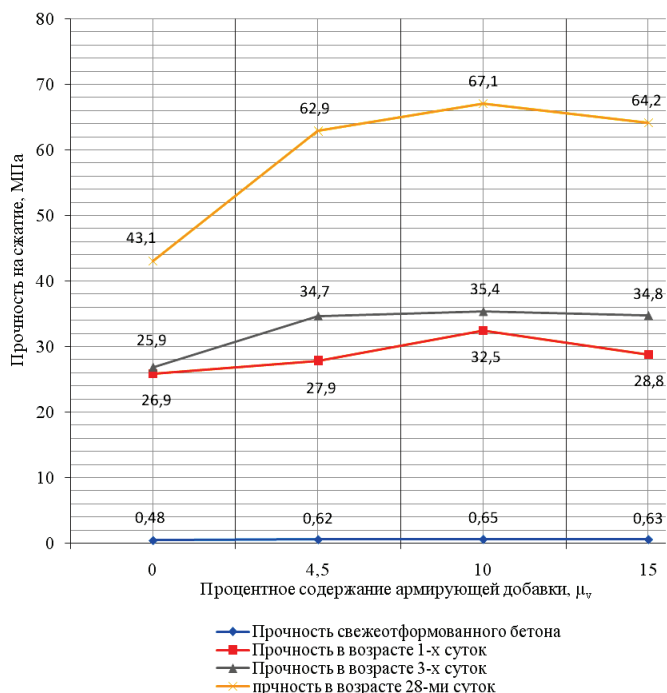


Рисунок 3 – Зависимость прочности на сжатие бетона от процентного содержания дисперсно-армирующей добавки при вибропрессовании плоскими пуансонами.

сдвиг при осевой деформации может увеличить величину сдвиговых деформаций. Влага в бетонной смеси способствует лучшей уплотняемости, а также повышению прочности образцов, т. к. содержащиеся в ней растворенные вещества, выпадая в осадок, при сушке связывают частицы образцов в прочный монолит.

Основанные на сдвиге процессы обработки бетонов (прокатка, прессование) позволяют получить достаточно высокие степени деформации, влияющие на формирование однородной структуры и свойств материалов [5].

Испытания образцов бетонов с различным содержанием дисперсно-армированных добавок производили при различных углах наклона пуансона 10, 20 и 30° на характерных сроках твердения бетона: свежеотформованного, в возрасте одних, трех и двадцати восьми суток на серии образцов.

В результате проведенных экспериментов установлено, что вибропрессование со сдвигом приводит к увеличению прочности бетона. Максимальные значения прочностных характеристик наблюдаются при угле наклона пуансона 20° при различных процентах введения дисперсно-армирующих добавок (рисунок 4). При этом угле наклона пуансона введение в состав вибропрессованной бетонной смеси дисперсно-армирующей добавки в количестве 4,5 % от массы цемента увеличивает прочность на сжатие на 31,7 %, при количестве добавки 10 % – на 36 %, при количестве добавки 15 % – на 33,1 %. Коэффициент уплотнения бетонной смеси максимальный при содержании дисперсно-армирующей добавки 10 % и угле наклона пуансона 20°.

На рисунке 5 показана сравнительные данные прочности на сжатие дисперсно-армированного бетона, полученного вибропрессованием плоскими пуансонами и пуансонами с наклонной рабочей поверхностью.

Анализируя полученные величины прочностных характеристик дисперсно-армированного бетона, видим увеличение прочности на сжатие образцов в возрасте 28-и суток на 13 % при виброуплотнении со сдвигом по сравнению с виброуплотнением прямыми пуансонами.

ВЫВОДЫ

Расчетным путем установлена наиболее оптимальная для жестких бетонных смесей величина водоцементного отношения, равная 0,38. Экспериментально подтверждена эта величина по оценке прочности на сжатие образцов, полученных вибропрессованием плоскими пуансонами.

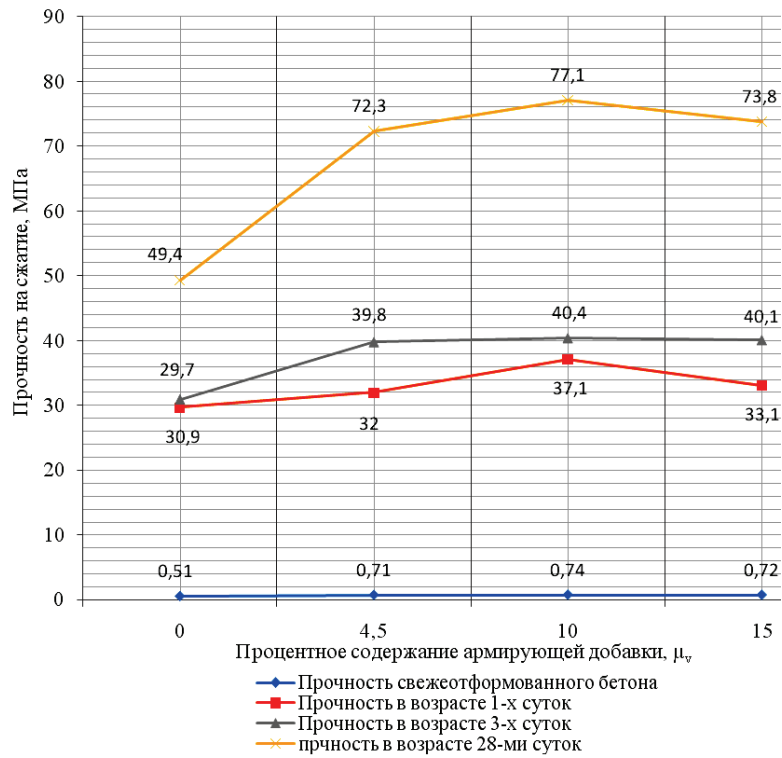


Рисунок 4 – Зависимость прочности на сжатие бетона от процентного содержания дисперсно-армирующей добавки при вибропрессовании со сдвигом.

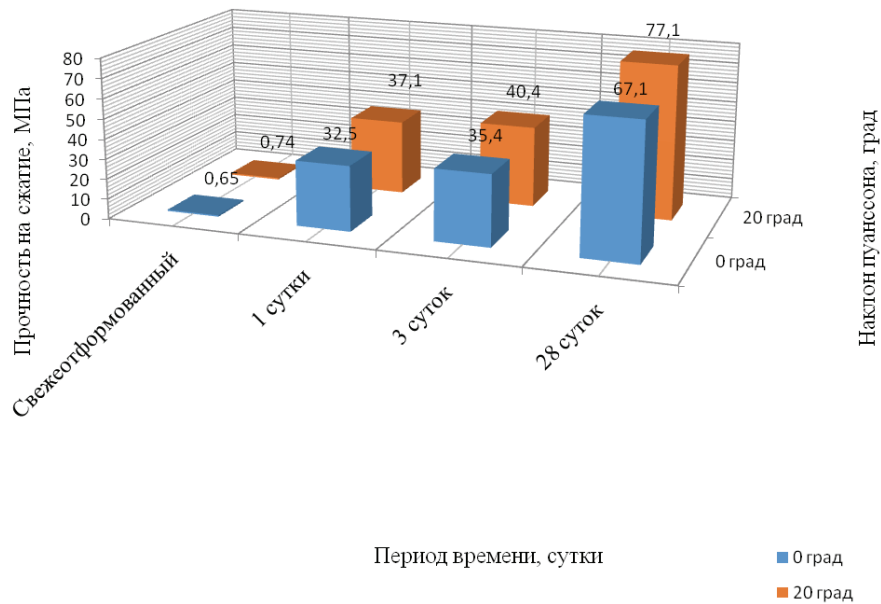


Рисунок 5 – Изменение прочности на сжатие дисперсно-армированного бетона во времени в зависимости от угла наклона пуансона при вибропрессовании со сдвигом.

Установлено влияние дисперсно-армирующей добавки, полученной из шлифовальных отходов жаропрочной стали, на прочность при сжатии бетона. При оптимальном содержании добавки в количестве 10 % прочность на сжатие вибропрессованного бетона в возрасте 28 суток возрастает на 35,8 %.

Установлено влияние сдвигающей деформации на прочностные характеристики дисперсно-армированного бетона. При изготовлении бетонных образцов вибропрессованием со сдвигом с углом наклона рабочей поверхности пуансона 20° прочность на сжатие увеличивается на 13 % по сравнению с виброуплотнением плоским пуансоном бетона аналогичного состава.

Таким образом, применение дисперсно-армирующей добавки и вибропрессования со сдвигом для изготовления бетонных изделий обеспечит суммарное повышение прочности на сжатие на 48,8 % по сравнению с вибропрессованным бетоном контрольного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона [Текст] / И. Н. Ахвердов. – М. : Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Баженов, Ю. М. Технология бетона [Текст] / Ю. М. Баженов. – М. : АВС, 2007. – 528 с.
3. Вибропрессование. Практические рекомендации [Текст] / Ю. Д. Глозов, А. А. Тормозов, Е. С. Шутов [и др.] // Производственное издание. Fill Fine. – 252 с.
4. Рябичева, Л. А. Подготовка и исследование шлифовальных отходов для дисперсного армирования бетонной смеси [Текст] / Л. А. Рябичева, В. В. Засько // ПРОФЕССИОНАЛ ГОДА 2017 : сборник статей победителей III международного научно-практического конкурса / Под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. – С. 14–19.
5. Прочностные характеристики прессованных бетонов оптимальной структуры [Текст] / В. Г. Соколов, А. С. Соколов, Ю. Н. Денисов [и др.] // Строительные материалы. – 1995. – № 8. – С. 25–26.

Получено 10.04.2017

Л. О. РЯБИЧЕВА, В. В. ЗАСЬКО МІЦНІСТЬ ДИСПЕРСНО-АРМОВАНОГО БЕТОНУ, ОТРИМАНОВОГО ВІБРОПРЕСУВАННЯМ

Луганський національний університет імені Володимира Даля

Анотація. У роботі представлено порівняльний аналіз міцності на стиск бетону, дисперсно-армованого різною кількістю мікрочастинок, отриманих із шліфувальних відходів жароміцної сталі. Зразки отримували за двома схемами технології: вібропресування плоскими пуансонами і вібропресування пуансонами з похилою робочою поверхнею. Встановлено, що найбільшу міцність на стиск мають зразки, які містять 10 % дисперсно-армувальної добавки, отримані за схемою вібропресування із зсувом.
Ключові слова: дисперсно-армувальна, водоцементне відношення, вібропресування із зсувом, міцність на стиск.

LYUDMILA RYABICHEVA, VITALI ZACKO STRENGTH OF THE CONTINUOUSLY REINFORCED CONCRETE PRODUCED BY VIBRATION PRESSING

Vladimir Dahl Lugansk National University

Abstract. The comparative analysis of the compressive strength of concrete continuously reinforced with different amount of micro particles obtained from grinding wastes of heat resistant steel has been presented in this paper. Samples have been obtained using two process flow sheets: vibration pressing by flat punches and vibration pressing by punches with the oblique work surface. It has been established that the greatest compression strength demonstrated by samples containing 10 % of dispersal reinforcement additive produced using vibration pressing schema with shear.

Key words: dispersal reinforcement additive, water-cement ratio, vibration pressing with shear, compressive strength.

Рябичева Людмила Александровна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой материаловедения и строительства Луганского национального университета имени Владимира Даля. Научные интересы: получение новых материалов со специальными свойствами из отходов промышленности.

Засько Виталий Васильевич – старший преподаватель кафедры материаловедения и строительства Луганского национального университета. Научные интересы: перспективные строительные материалы.

Рябичева Людмила Олександрівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри матеріалознавства і будівництва Луганського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: одержання нових матеріалів зі спеціальними властивостями із відходів промисловості.

Засько Віталій Васильович – старший викладач кафедри матеріалознавства і будівництва Луганського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: перспективні будівельні матеріали.

Ryabicheva Lyudmila – D. Sc. (Eng), Associate Professor, Head of the Material and Civil Engineering Department, Vladimir Dalh Lugansk National University. Scientific interest: receiving new materials with special properties from waste of the industry.

Zacko Vitali – senator teacher, Material and Civil Engineering Department, Vladimir Dalh Lugansk National University. Scientific interest: perspective construction material.