

ошибка измерений не превышала 10%. Замеры твёрдости производились на поверхности образца до испытаний на абразивный износ.

Для оценки изменения твёрдости сравнивались исходная твёрдость детали и твёрдость, полученная после ИПА. Так, исходная твёрдость дисковых ножей из стали 40X13 составляла 45...46,5 HRC, а после ИПА удалось достичь максимальной твердости 60...62 HRC (содержание азота в газовой камере — 35%, температура азотирования — 550°C).

Исходная твёрдость образцов из стали 9XC составляла 44 HRC, так как детали из этих сталей уже прошли предварительную термообработку (закалка + средний отпуск). После ИПА удалось достичь максимальной твердости 63 HRC (содержание азота в газовой камере — 50%, температура азотирования — 500°C).

Для проектирования технологического процесса ИПА важен материал детали, анализ требований по механическим свойствам и характер термической обработки. Это служит основанием для назначения режимов азотирования, не ухудшающих заданных физико-химических свойств материала детали. Так, например, температура обрабатываемой поверхности при азотировании не должна превышать температуру предыдущей термической обработки.

В сравнении с широко используемыми способами упрочняющей химико-термической обработки стальных деталей, такими как цементация, нитроцементация, цианирование и газовое азотирование в печах, метод ИПА имеет следующие основные преимущества: более высокая поверхностная твердость азотированных деталей; отсутствие деформации деталей после обработки и высокая чистота поверхности; повышение предела выносливости и увеличение износостойкости обработанных деталей; более низкая температура обработки (400...600°C), благодаря чему в стали не происходит структурных превращений; возможность обработки глухих и сквозных отверстий; сохранение твёрдости азотированного слоя после нагрева до 600...650°C; отсутствие загрязнения окружающей среды; снижение себестоимости обработки в несколько раз.

Последовательность операции при проведении технологического процесса ИПА для получения коррозионной стойкости при заданной твёрдости:

1) с помощью фальцевой кисти камера очищается от окислов и продуктов горения. Далее производится очистка поверхностей анода и катода;

2) азотируемые детали устанавливаются в камеру с соблюдением правил техники безопасности и руководства по эксплуатации установки ИПА;

3) на операции ввода программы программируются режимы разогрева и непосредственно азотирования.

Исходя из полученных ранее данных, для образцов из стали 9XC устанавливаем температуру 450°C (либо 550°C) и настраиваем содержание азота в газовой камере 35%. Для образцов из стали 40X13 устанавливаем температуру азотирования 550°C и содержание азота в газовой камере 35%. После завершения цикла насыщения установка автоматически перейдет в режим остывания. Остывание производится в вакууме. Максимальная температура извлечения деталей из камеры составляет 180°C.

**Заключение.** После обработки методом ИПА повысилась поверхностная твердость образцов из сталей марок 40X13 и 9XC в 1,5 раза. При проведении промышленных испытаний на износ дискового ножа удалось увеличить его стойкость в 2,5 раза, а стойкость копьевидного ножа для резки заготовок из древесины для изготовления спичек — в 1,5...2 раза.

Составлен технологический процесс и предложены режимы ИПА изделий из стали 40X13 и 9XC (на примере режущего инструмента дискового ножа для резки куриных желудков и ножа для резки заготовок из древесины для изготовления спичек), позволяющие добиться значительного увеличения твердости и износостойкости по сравнению с необработанным материалом.

#### Список цитируемых источников

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов [и др.]. — М. : МВТУ им. Баумана, 1999. — 400 с.

УДК 666.94:691.3

**И. П. Павлова, К. Ю. Беломесова**

*Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест*

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НАПРЯГАЮЩЕГО ЦЕМЕНТА

**Введение.** Бетон на основе портландцемента является одним из основных строительных материалов современности. Достоинства бетона как конструкционного строительного материала хорошо известны повсеместно, а совершенствование строительно-технических характеристик этого материала является весьма важной

задачей для всей строительной отрасли. Стоит отметить, что при наличии большого количества достоинств такие бетоны обладают и рядом недостатков, к которым относят сравнительно невысокую прочность при растяжении (по сравнению с прочностью при сжатии), а также усадочные деформации, развивающиеся как во время гидратации портландцемента, так и в процессе эксплуатации конструкций. Усадка бетоноконструкции в целом или отдельных её зон опасна не столько нарушением геометрии элемента конструкции, сколько возникающими при этом растягивающими напряжениями в бетоне, которые часто приводят к образованию сквозных или поверхностных трещин [1, с. 6].

Одним из способов предотвращения негативных последствий усадочных деформаций в строительной практике является применение расширяющихся и напрягающих цементов (далее — НЦ), расширение которых в процессе твердения происходит вследствие появления в структуре цементного камня новообразований, объём которых существенно превосходит объём вступающих в реакцию исходных веществ [2, с. 13]. Бетоны на НЦ за счёт своих свойств позволяют с успехом применять их в сборных и монолитных конструкциях и сооружениях в различных областях строительства. Накопленный практический опыт применения таких бетонов свидетельствует, что в большинстве случаев их использование дает возможность возводить конструкции и сооружения, которые превосходят по своим техническим и эксплуатационным характеристикам аналоги из бетона на портландцементе [3]. Вместе с тем НЦ является искусственным камнем, показывающим низкое сопротивление растяжению. В целях повышения сопротивления бетонных конструкций изгибу и растяжению последние армируют непрерывной волокнистой арматурой, применяя для этого стекловолокно, полимеры и металлы. Однако несмотря на свои очевидные преимущества, данные армирующие материалы имеют ряд существенных недостатков.

Что же касается базальтовой фибры, применяемой в качестве армирующего компонента, то она обладает рядом преимуществ перед перечисленными выше материалами. Одним из таковых является то, что фибра обеспечивает трехмерное укрепление бетона в сравнении с традиционной арматурой, которая обеспечивает двухмерное укрепление. Применение базальтовой фибры в бетонных смесях позволяет уменьшить трудозатраты по армированию бетонных изделий, добиться повышения производительности работ, а также снизить толщину и вес конструкции, при этом увеличивая ее трещиностойкость и долговечность.

Целью данной работы являлось определение оптимальной концентрации армирующего компонента (фибры), оказывающей положительное влияние на рост прочностных характеристик НЦ, характеристик расширения без изменения других показателей.

**Основная часть.** Напрягающий цемент изготавливали в лабораторных условиях при смешивании портландцемента и расширяющейся добавки, представленной высокоактивным метакаолином и природным гипсом.

Приготовление НЦ включало два этапа: на первом этапе приготавливали суспензию из воды, метакаолина и гипса. На втором этапе в ранее приготовленную суспензию вводили портландцемент с дальнейшим перемешиванием всех составляющих. Смешивание компонентов НЦ осуществляли с помощью механического смесителя в соответствии с СТБ EN 196-3 [4]. В качестве армирующего компонента применяли базальтовую фибру с длиной волокна 25 мм. Количество армирующего компонента было принято в количестве 5% по массе вяжущего вещества. Для улучшения равномерного распределения базальтовой фибры в цементно-песчаной матрице, а также увеличения пластичности смеси был применен гиперпластификатор на поликарбоксилатной основе. Основными контролируемыми параметрами НЦ являлись величины самонапряжения и линейного расширения согласно источнику [4]. Для определения основных показателей НЦ существуют методы и оборудование, подробно описанные в СТБ 1335 [4].

Для определения величины самонапряжения и линейного расширения НЦ были заформованы контрольные образцы в соответствии с СТБ 1335 [4]. Контрольные измерения связанных и свободных деформаций опытных образцов производили для НЦ в возрасте 1, 3, 7, 14, 21 и 28 суток в соответствии с указаниями нормативных документов. Испытаниям подвергали следующие образцы: серия I — образцы из цементно-песчаной смеси; серия II — образцы из цементно-песчаной смеси, армированной базальтовой фиброй. Представим полученные значения величины самонапряжения и линейного расширения серий образцов из НЦ в возрасте 28 суток (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 — Значения величин свободных и связанных деформаций НЦ

Серия образцов	Самонапряжение, МПа	Линейное расширение, %
I	5,88	0,964
II	4,83	0,551

На основании полученных данных был проведен сравнительный анализ образцов серий I и II. Значение величины самонапряжения образцов, не армированных базальтовой фиброй (серия I), превышает значение образцов, армированных базальтовой фиброй (серия II), примерно на 20%.

Что же касается значений линейного расширения, то величина линейного расширения образцов, не армированных базальтовой фиброй, практически вдвое превосходит значение величины линейного расширения образцов, армированных базальтовой фиброй.

На основании полученных данных можно сделать вывод о степени влияния базальтовой фибры на рост свободных и связанных деформаций НЦ. Необходимо отметить, что базальтовое волокно (фибра) представляет собой отрезки комплексного базальтового волокна заданной длины в виде рассыпчатых монофиламентов, а по своей структуре схоже с цементным камнем и обладает природной естественной шероховатостью. Именно благодаря своей шероховатости достигается высокое сцепление волокон с цементной матрицей, а за счёт способности разделения волокна на отдельные монофиламенты достигается равномерное распределение волокон по объёму смеси.

В ходе проведенных исследований выявлено, что наиболее эффективно вводить базальтовое волокно в заранее приготовленную суспензию, состоящую из воды и НЦ, с последующим добавлением песка. При таком способе перемешивания базальтовое волокно разделяется на отдельные монофиламенты, которые, в свою очередь, равномерно распределяются по объёму смеси, вызывая эффект объемного армирования, что также влияет и на прочностные характеристики смеси.

Представим значения прочности на сжатие и на растяжение при изгибе опытных образцов из НЦ в возрасте 28 суток (таблица 2).

Т а б л и ц а 2 — Прочностные характеристики НЦ, МПа

Серия образцов	Средняя прочность на сжатие	Средняя прочность на растяжение при изгибе
I	40,88	6,54
II	71,61	14,61

По результатам экспериментальных исследований выявлено, что армирование цементно-песчаной смеси базальтовым волокном (фиброй) в количестве 5% от массы вяжущего, повышает величину прочности на сжатие примерно на 70%, а величину прочности на растяжение при изгибе на 120%.

Увеличение прочностных показателей НЦ обусловлено целым рядом причин, одной из которых является природа и структура самого базальтового волокна. Базальтовое волокно (фибру) производят из расплава горных пород типа базальта, обладающего высокими показателями прочности, благодаря чему при взаимодействии фибры с цементным камнем создается плотное и прочное сцепление.

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлена рекомендуемая дозировка базальтовой фибры, которая составила 5% от массы вяжущего. Именно при концентрации базальтовой фибры в этих пределах происходит рост прочностных характеристик цементно-песчаной смеси, таких как прочность на растяжение при изгибе и прочность на сжатие. Предложен оптимальный способ введения базальтового волокна, позволяющий достичь равномерного распределения армирующего компонента по объёму смеси. Оптимальный способ введения базальтовой фибры заключается в введении волокон в заранее приготовленную суспензию, состоящую из НЦ с водой.

#### Список цитируемых источников

1. Тур, В. В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона / В. В. Тур. — Брест, 1998. — 244 с.
2. Титов, М. Ю. Бетоны с компенсированной усадкой на расширяющих добавках : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / М. Ю. Титов ; НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. — М., 2012. — 22 с.
3. Мартиросов, Г. М. Бетоны на основе расширяющихся вяжущих [Электронный ресурс] / Г. М. Мартиросов, Л. И. Будагянц, Л. А. Титова. — Режим доступа: <http://wila.ru/4/309/article32956/>. — Дата доступа: 02.03.2017.
4. Методы испытания цемента. Часть 3. Определение сроков схватывания и равномерности изменения объема : СТБ ЕН 196-3-2011. — Введ. 01.06.2012. — Минск : Минстройархитектуры, 2012. — 11 с.