

С. В. БОРЩЕВСКИЙ (Донецкий национальный технический университет)

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО И ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХРАНЕНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Розглянуто методику і результати експериментів, проведених на бетонних зразках, по вивченню зміни міцностних характеристик бетонного каменю залежно від часу й умов збереження заповнювачів. За отриманими результатами зроблені практичні висновки.

Рассмотрены методика и результаты экспериментов, проводимых на бетонных образцах, по изучению изменения прочностных характеристик бетонного камня в зависимости от времени и условий хранения заполнителей. По полученным результатам сделаны практические выводы.

Are considered a technique and results of experiments spent on concrete samples, on study of change durability of the characteristics of a concrete stone depending on time and conditions of a storage of containing components. By the received results the practical conclusions are made.

Основными видами крепи капитальных горных выработок со сроком службы более 15 лет, в том числе и транспортных тоннелей, являются монолитная бетонная, сборная железобетонная и набрызг-бетонная крепь. При креплении вертикальных стволов шахт монолитная бетонная крепь является основным видом крепи (98 % всех стволов крепится монолитной бетонной крепью). В горизонтальных и наклонных горных выработках угольных шахт Донбасса бетонная и металлобетонная крепь имеют объем применения 15...21 % [1; 2].

Монолитная бетонная крепь относится к типу поддерживающих и подпорных, обладает достаточно высокой несущей способностью. При возведении крепи применяют механизацию всех операций, начиная с приготовления бетонной смеси и кончая укладкой ее за опалубку. Степень механизации достигает 84...88 %. Например, при возведении бетонной крепи в вертикальных стволах стоимость крепи из бетона в 1,3...1,5 раза дешевле, чем из железобетонных тубингов и в 5...7 раз по сравнению с чугунными тубингами. Бетон обладает хорошей адгезией практически со всеми видами горных пород. Гладкая внутренняя поверхность бетонной крепи обладает малым аэродинамическим сопротивлением. Так, коэффициент аэродинамического сопротивления бетонной крепи в 3...4 раза меньше по сравнению с тубинговой. Срок службы бетонной крепи обеспечивает эксплуатацию стволов в течение десятков лет. Материал крепи огнестоек, для его приготовления можно использовать дешевые местные материалы.

Бетонную смесь изготавливают на портландцементе (обычный гидрофобный и быстротвер-

деющий) и шлакопортландцементе марки не ниже М400. При пересечении вертикальным стволом водоносных пластов, воды которых обладают сульфатной агрессией, применяют сульфатостойкий портландцемент и бетон повышенной плотности.

Бетон сложен и многообразен. Он представляет смесь воды, песка, гравия и вяжущего материала, обычно портландцемента. Огромное значение при этом принимает бетон большой прочности. Прежде всего необходимо уточнить, что понимать под определением «высокопрочный бетон». К сожалению, в этом вопросе еще нет единого мнения.

Так, немецкий исследователь А. Хуммель предлагал считать высокопрочным бетон прочностью в 70 МПа и выше [3]. С. А. Миронов считал высокопрочными бетоны марок 300...500 [4]; А. Е. Десов, В. М. Москвин и Б. Г. Скрамтаев предлагали считать бетоны высокопрочными, если предел их прочности при сжатии выше 60 МПа и, кроме того, другие показатели (прочность при растяжении, морозостойкость) должны быть, по их мнению, также соответственно высоки [5]. Международная комиссия по высокопрочному бетону предлагает считать высокопрочными бетоны прочностью выше 100 МПа. Можно было бы продолжить подобные примеры, однако разница будет только в предлагаемой цифре – марке бетона, определяющей понятие «высокопрочный».

Таким образом, несмотря на различие в величине прочности бетона, все эти предложения объединяет одно: в качестве определяющего фактора принимается лишь показатель марочной прочности бетона.

По нашему мнению, это не совсем верно, так как количественные характеристики прочности не учитывают целого ряда особенностей высокопрочных бетонов, качественно отличающих их от обычных. Можно привести конкретный пример, показывающий несостоятельность перечисленных выше предложений по определению высокопрочного бетона. Так, например, бетон марки В50, который можно отнести к высокопрочным, возможно получить и на цементе марки 800, и на цементе марки 400 (и даже 300). И если по показателям прочности в обоих случаях получатся совершенно одинаковые бетоны, то составы смесей, их расчет, технология приготовления, изменение прочности во времени, а также и другие показатели, например, плотность, морозостойкость, водопроницаемость, объемный вес будут совершенно различными.

В первом случае марка бетона намного ниже марки исходного цемента, т. е. имеет место типичный для рядового бетона факт и, следовательно, расчет состава, технология приготовления и свойства бетона обычны. Поэтому полученный бетон есть все основания считать обычным. Во втором случае марка полученного бетона превышает марку исходного цемента. Расчет состава в этом случае не может быть произведен общепринятыми методами – свойства бетонной смеси и технология ее укладки существенно отличаются. Иными будут нарастание прочности бетона во времени, а также его плотность и другие свойства. Таким образом, бетоны, имеющие одинаковую прочность, в приведенных примерах будут резко отличаться по структуре. Поэтому, несмотря на одинаковую прочность, следует отдать предпочтение бетону, полученному во втором случае, как более плотному и, следовательно, более морозостойкому, водонепроницаемому и долговечному. Однако следует учитывать тот факт, что приготовить и уложить такой бетон труднее.

Приведенные примеры показывают, что связывать понятие о высокопрочном бетоне с конкретными показателями его прочности без учета марки исходного цемента и технологии приготовления бетона принципиально неверно, так как при этом искажается сам смысл термина «высокопрочный бетон». В это понятие, по нашему мнению, следует вкладывать физический смысл, а не регламентировать его цифровыми различиями. Высокопрочные бетоны следует рассматривать так же, как и «высокоплотные». Таким образом, высокопрочными следует считать бетоны, марка которых равна или выше активности исходного цемента. Такое определение, связывая конечную прочность бетона с активностью исходного цемента, предопределяет

технологию получения и, до некоторой степени, свойства бетона. Единственным недостатком такого определения является то, что предположив, например, наличие исходного цемента активностью в 5 МПа, следует признать высокопрочным бетон такой же прочности. Во избежание этого следует оговорить нижний предел прочности, который для большинства выпускаемых в настоящее время цементов составляет 50 МПа.

Таковы, вкратце, соображения о термине «высокопрочный бетон». Однако в настоящее время создание высокопрочного бетона осуществлялось в основном за счет повышения активности цемента и применения более совершенной технологии изготовления бетона. При этом совершенно не учитывались реологические свойства компонентов, входящих в состав бетонной смеси.

В тоже время известно, что при дроблении твердых материалов на их поверхности образуются активные короткоживущие центры (КЖЦ), которые делают химические реакции с их участием более активными [6]. Вместе с тем, при контакте с атмосферой эти КЖЦ погибают. Если это так, то бетонирование следует выполнять до начала глобальной «гибели» короткоживущих активных центров, т.е. до покрытия поверхности твердых тел пленкой адсорбированных веществ, снижающей химическую активность компонентов бетонной смеси.

Для протекания химического взаимодействия между веществами необходимо обеспечить сближение атомов на расстояние действия межатомных сил, а также сообщить им энергию, при которой распределение электронной плотности атомов станет благоприятным для элементарного акта взаимодействия. При взаимодействии газов и жидкостей с твердыми телами физический контакт между ними за счет их высокой подвижности достигается сравнительно легко.

Относительно же того, каким образом достигается активация поверхностных атомов в этих процессах, существуют различные мнения. По этому вопросу наметилось три подхода [6].

В первом подходе, который можно назвать «тепловым», считается, что энергия активации химических процессов, протекающих при измельчении, обеспечивается теплом, выделяющимся при трении или соударении частиц измельчаемого вещества.

Во втором, «дислокационном», считается, что активация происходит за счет энергии выходящих на поверхность дислокаций при пластической деформации частиц измельчаемого вещества.

В третьем подходе активации химических процессов связывается со «сбросом» упругой энергии в момент разрушения твердого тела и с образованием короткоживущих активных центров – КЖЦ (теория короткоживущих активных центров).

Для выяснения степени влияния этого эффекта на прочностные характеристики бетона нами были проведены специальные эксперименты, опубликованные в работе [5]. Все компоненты бетонной смеси (цемент, песок, щебень) были расфасованы на две части: одна часть в герметичные целлофановые мешки (условное обозначение КЖЦ), вторая же была оставлена в открытом состоянии в бумажных мешках (условное обозначение БКЖЦ). Через каждые семь суток в течение 70 суток (10 разных замесов) производилось изготовление серии балочек и кубиков из компонентов с обеих групп, а по истечению не менее 28 суток производилось их испытание на изгиб и сжатие.

Анализ полученных зависимостей позволил сделать следующие выводы. Независимо от способа хранения компонентов происходит со временем постоянное ухудшение их качества, приводящее к снижению предела прочности получаемого бетона. Однако снижение прочности бетона, полученного из компонентов, хранившихся в полиэтиленовой таре, менее интенсивное, чем полученного из компонентов, хра-

нившихся на открытом воздухе и в открытых бумажных мешках. В результате был сделан вывод, что в процессе бетонообразования короткоживущие активные центры на поверхности твердых компонентов играют положительную роль – их наличие повышает прочность бетона. Снижение прочности бетона в образцах, изготовленных из компонентов, хранившихся в полиэтиленовых сосудах, объясняется потерей химической активности компонентов в результате реакции с кислородом воздуха, находящемся в межкусковом пространстве наполнителей.

Целью данной работы является установление продолжительности потери компонентами своей бетонозатворительной эффективности в зависимости от условий их хранения. Методика исследования была принята та же, что и в работе [5].

На первом этапе работы был изучен этот процесс для условий хранения наполнителей бетона в воздушном окружении. Полученные зависимости представлены на рис. 1 и 2. По оси абсцисс размещается время опыта, по оси ординат – прочность бетона на сжатие.

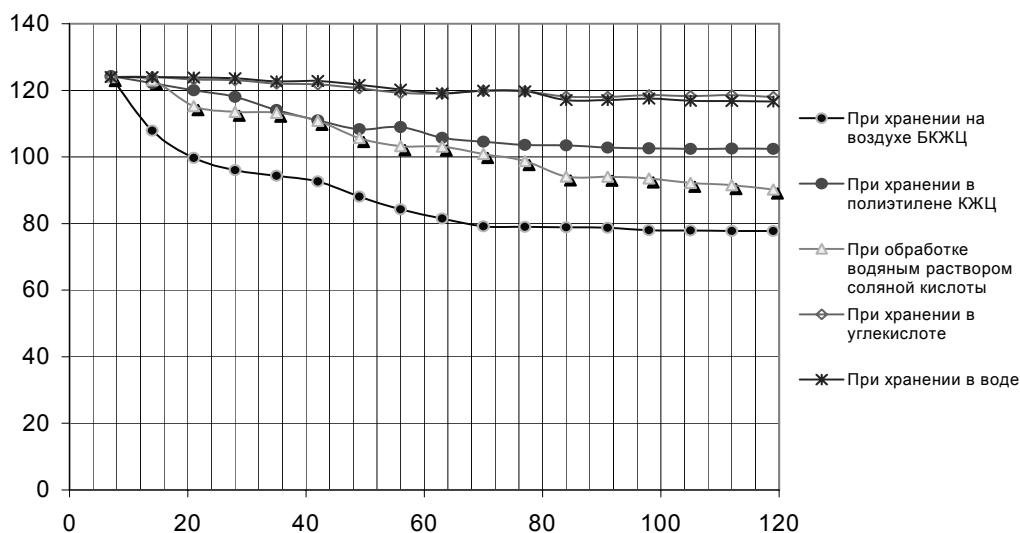


Рис. 1. Изменение предела прочности бетона на изгиб с возрастанием времени хранения исходных компонентов в различных условиях

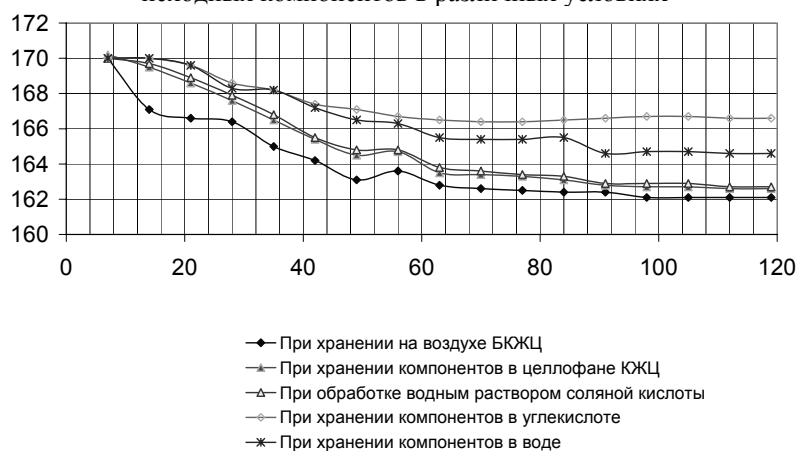


Рис. 2. Изменение предела прочности бетона на сжатие с возрастанием времени хранения исходных компонентов в различных условиях

Из рис. 1 и 2 следует, что через 80...100 суток после изготовления (добычи, дробления) твердых компонентов прочностные характеристики полученного на их основе бетона остаются постоянными, причем прочность бетона на изгиб снизилась (по сравнению с величиной, полученной из «свежих» компонентов) примерно на 20 % при хранении компонентов в полиэтиленовых мешках и на 35 % при хранении на открытом воздухе. Прочность бетона на сжатие снизилась на 4,6 и 4,8 % соответственно.

Возникает законный вопрос: почему все же сохранилось различие между прочностными характеристиками бетона, полученного из компонентов, хранившихся в различных условиях? Для ответа на этот вопрос щебень и песок перед бетонированием были обработаны 40 % водным раствором соляной кислоты. Идея этого эксперимента состояла в том, чтобы снять окисную пленку с поверхности компонентов. Предварительные опыты были сделаны в работе [5] и полностью завершены в данной работе. Так, например, в работе [5] было показано, что предел прочности бетона на изгиб, полученного из обработанных кислотой твердых компонентов через 28 и 35 суток от их получения, практически остался таким же, каким был он через 7 суток из необработанных компонентов. Хотя через 28...35 суток его прочность снизилась на 12,7...11,9 % при использовании компонентов, хранившихся на открытом воздухе, и на 2,7...3,0 % – хранившихся в полиэтиленовых мешках. В данной работе влияние кислотной обработки твердых компонентов через различное время их хранения на прочность бетона было прослежено в течение 120 суток (рис. 1, 2).

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что со временем не все КЖЦ на поверхности твердых компонентов сразу же «погибают» при соприкосновении с окружающей средой. В те или иные химические реакции вступает только часть КЖЦ, величина которой зависит от условий хранения компонентов, с образованием пленки адсорбированных веществ. Эта пленка как бы окутывает частицы порошка и защищает от гибели остальные КЖЦ. При обработке таким сильным растворителем, как соляная кислота – оставшаяся активность компонентов возрождается.

Завершающим этапом работы данного направления явилось установление влияния свойств среды, в которой хранятся наполнители, на получение бетона высокой прочности. Особенность методики проведения дальнейших исследований состояла в следующем. Партия

свежеполученных наполнителей разделялась на две группы, одна из которых закладывалась на хранение в стандартной упаковке (в бумажных мешках) или на открытом воздухе, т. е. выполняла функцию эталона в данной серии экспериментов. Вторая группа компонентов расфасовывалась в полиэтиленовые мешки, часть из которых заливалась водой, а часть продувалась диоксидом углерода таким образом, чтобы произошло полное замещение инертной средой находящегося в межкусковом пространстве воздуха. Цемент продувался только диоксидом углерода. Периодически, через каждые 7 суток из обеих групп наполнителей и цемента изготавливались кубики и балочки, которые не раньше чем через 28 суток испытывались по описанной в работе [5] методике.

Из анализа полученных результатов (см. рис. 1 и 2) вытекает следующее.

При хранении наполнителей бетона в инертной среде (как в воде, так и в диоксиде углерода) предел прочности бетона на изгиб не зависит от времени их хранения (с момента получения) и остается на уровне, достигнутом при бетонозатворении свежеприготовленных компонентов. В то же время предел прочности бетона на сжатие даже при хранении исходных компонентов в инертной среде через 120 суток от начала получения снижается: при хранении в диоксиде углерода – на 1,4 %, а в воде на 3,2 %. Вместе с тем он остается выше по сравнению с хранением в полиэтиленовых мешках с воздушным межкусковым пространством на 1,2...2,4 %. Различие (хотя и незначительное) в характере влияния фактора хранения компонентов в инертной среде на прочность бетона можно объяснить тем, что предел прочности бетона на сжатие зависит не только от прочности сцепления наполнителей между собой, но и от целого ряда других физических факторов, например, наличия пор (пустот) внутри бетонной смеси.

Выводы

1. Впервые экспериментально установлено, что эффективность цемента и наполнителей (песка и щебня) бетонной смеси, хранившихся на открытом воздухе в первые 80...100 суток после их получения (добычи, измельчения) ухудшается, а затем стабилизируется, причем предел прочности на изгиб полученного на их основе бетона снижается через этот отрезок времени на 20...30%, а на сжатие – на 4,6...4,8 % по сравнению с характеристиками, полученными из «свежих» компонентов. Это явление объясняется, на наш взгляд, наличием на по-

верхности твердых компонентов химически активных короткоживущих центров (КЖЦ), которые с течением времени вступают в реакции с атмосферным воздухом и погибают, в результате чего поверхность твердых частиц покрывается защитной пленкой.

2. Экспериментально показано, что после обработки песка и щебня 40 %-м водным раствором соляной кислоты их бетонозатворительная эффективность повышается, например, через 28...35 суток после получения восстанавливается до начальных пределов. Это свидетельствует о том, что гибнут не все КЖЦ, а только какая-то их часть оставшихся КЖЦ изолируются от окружающей среды окисной пленкой, после снятия которой прочностные показатели бетона, полученного на их основе, возрастают, хотя и не до начальных пределов.

3. При хранении компонентов в герметичной полиэтиленовой таре также наблюдается снижение их эффективности, но в меньшей степени. Однако, если наполнители хранить в инертной среде, то прочность полученного на их основе бетона на изгиб не снижается и остается такой же, как у бетона, полученного из «свежих» компонентов, а прочность на сжатие, хотя и снижается, но в гораздо меньшей степени по сравнению с величиной, установленной для условий хранения в кислородсодержащей среде.

Перечисленные экспериментально установленные факты убедительно свидетельствуют о существенном влиянии на прочностные характеристики бетона короткоживущих активных центров на поверхности твердых компонентов (наполнителей).

Работа будет продолжена в направлении установления доли вклада химической активности поверхности каждого из наполнителей на прочностные характеристики бетона и установления влияния КЖЦ на адгезионные свойства бетонной крепи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кошелев К. В. Состояние крепи капитальных выработок глубоких шахт Донбасса и направление ее совершенствования / К. В. Кошелев, Ю. И. Антоневиц // Горный журнал. – 1976. – № 11. – С. 32–34.
2. Кошелев К. В. Межремонтный период крепи капитальных выработок глубоких шахт / К. В. Кошелев, Ю. И. Антоневиц // Уголь Украины. – 1976. – № 2. – С. 23–24.
3. Хуммель А. О технологии высокопрочного бетона. / Сборник иностранных переводов, 1955. – № 2.
4. Миронов С. А. Вопросы технологии высокопрочного бетона / С. А. Миронов, Г. А. Аробелидзе // Бетон и железобетон, 1955. – № 4.
5. Десов А. Е. Высокопрочные бетоны для предварительно напряженных конструкций / А. Е. Десов, В. М. Москвин, Б. Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 320 с.
6. Аввакумов Е. Г. Механические методы активации химических процессов. – Новосибирск: Наука, 1979. – 256 с.
7. Шевцов Н. Р. Оценка влияния времени и условий хранения компонентов на прочность получаемого бетона / Н. Р. Шевцов, С. В. Боршевский // Известия горного института. – 2003. – № 1. – С. 29–30.

Поступила в редколлегию 15.06.2005.