

ВЫВОДЫ

1. Из большого числа методов для изучения поврежденности структуры бетона выделен микроскопический метод, который позволяет обнаруживать микротрещины на разных этапах их образования, начиная с 0,1 мкм.
2. Разработана методика выявления микродефектов в структуре поврежденного бетона, включающая подготовку шлифов, подбор проявляющих веществ и исследование структуры под микроскопом. Для количественной оценки дефектной структуры предложено использовать отношение суммарной длины микротрещин на определенном участке к общей площади этого участка.

УДК 624.012.4:620.17.

Драган В.И., Загуляев С.В.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ ИР 5145-500-10

Одним из путей решения неотложных задач в области строительства являются дальнейшее повышение надежности и долговечности строительных конструкций зданий и сооружений. В связи с этим наиболее точное определение физико-механических свойств является неперменным условием для прогнозирования поведения строительных конструкций под нагрузкой. Из большого числа испытательных установок, наиболее полно отвечающих данным требованиям, нами использовалась разрывная машина ИР 5145-500-10 Ивановского ОАО "Точприбор".

Испытательная нагрузка при растяжении-сжатии данной машины составляет от 0 до 500 кН, при этом номинальная цена единицы наименьшего разряда при индикации нагрузки 0.01 кН, а предел допускаемой погрешности машины при измерении нагрузки в режиме растяжения +/-1%, сжатия +/-2%. Значение скорости перемещения активного захвата находится в пределах от 0.05 до 200 мм/мин.

Программное и техническое обеспечение позволяет проводить испытание следующих видов образцов: цилиндрических, плоских, целой трубы, сегмента трубы. При окончании испытания обеспечивается получение следующей информации: наибольшей нагрузки, достигнутой при испытании; значения перемещения активного захвата с учетом упругой и пластической деформации, соответствующего наибольшей нагрузке; нагрузки разрушения образца; временного сопротивления, истинного сопротивления разрыву; относительного удлинения начальной расчетной длины; относительного сужения площади поперечного образца после разрыва.

Принцип работы машины основан на принудительном деформировании образца при одновременном измерении нагрузки, прикладываемом к образцу, и соответствующей ей величины его деформации.

Функционально можно выделить следующие системы, обеспечивающие заданный режим работы машины: систему деформирования образца, систему электропривода (согласующий трансформатор, блок управления, сглаживающий реактор), систему автоматики (выключатель питающей сети, выключатель аварийного отключения, блок конечных выключателей, узел защиты), систему измерения силы (измеритель силы, пульт оператора ПО-3), систему измерения перемещения активного захвата испытательной установки (датчик,

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шейкин А.Н., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. - М.: Стройиздат, 1979. - 344 с.
2. ГОСТ 22023-76. материалы строительные. Метод микроскопического количественного анализа структуры. -10 с.
3. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей: Учеб. Пособие для строит. вузов. - М.: Высш. шк., 1991. -288 с.
4. Капиллярный неразрушающий контроль: контроль проникающими веществами./ Прохоренко П.П., Мигун Н.П., Стойчева И.В., Секерин А.М. - Мн: ИПФ, 1998. -160 с.
5. Дежуннов Н.В., Прохоренко П.П., Стойчева И.В. Метод подавления фонового свечения при контроле изделий из пористых материалов.// Дефектоскопия. -1989.- №10. -С. 62-67.

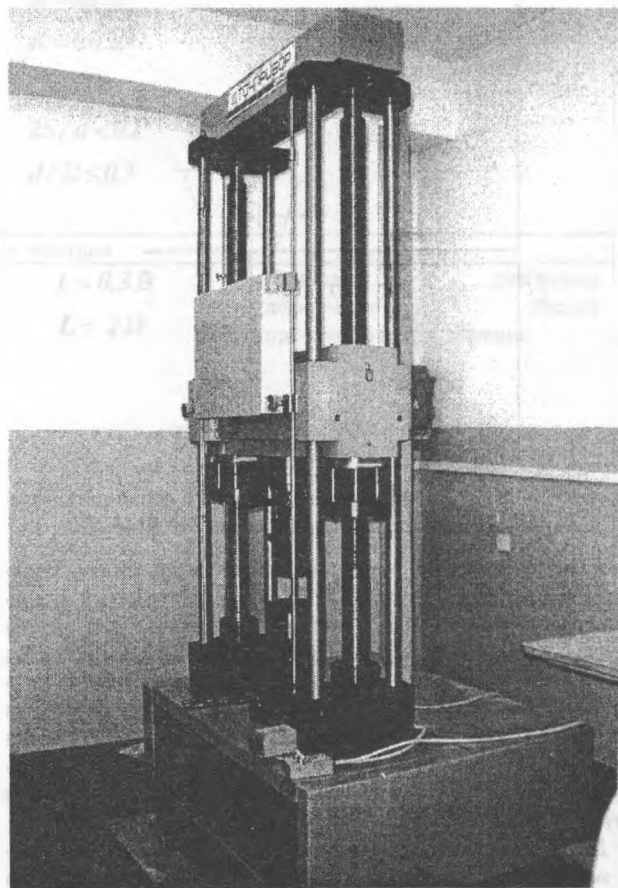


Рисунок 1 – Внешний вид разрывной машины ИР5145-500-10.

расположенный в неподвижной траверсе), систему измерения параметров испытания (пульт оператора ПО-3, программное обеспечение). Машина ИР 5145-500-10 работает в режимах растяжения, сжатия, циклирования нагрузки. Остановка испытания может производиться по достижению заданного значения нагрузки, заданного перемещения или по разрушению образца. За критерий разрушения образца и пре-

Загуляев Станислав Валерьевич. Аспирант каф. строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

кращения испытания принят спад нагрузки за 0,1 сек. на заданное число процентов (на 25%, 50%, 75%). Возможно проведение испытаний до заданной нагрузки с учётом анализа разрушения образца или без него. Если анализ разрушения введён, то при наличии спада нагрузки за 0,1 сек на заданное число процентов (образец разрушается) процесс испытания будет остановлен, даже если заданная нагрузка не достигнута. Если анализ разрушения не вводится, то в процессе испытания система не реагирует на спады нагрузки, что даёт возможность, например при сжатии, исследовать физический процесс деформирования образца вплоть до его спрессовывания. После испытания подвижная траверса может возвращаться в исходное положение автоматически, или по команде оператора. Если указана предварительная нагрузка, можно указать производить ли остановку на ней.

Разрывная машина позволяет проводить испытание на усталость материала, при котором усталостное повреждение или разрушение происходит при упругопластическом деформировании. Количество циклов имеет диапазон ориентировочно от $N = 1$ до $N = 10^3$. Цикл напряжений имеет знакопостоянный, асимметричный (рис. 2. а, б, в, г), отнулевой характер (рис. 2. б, в).

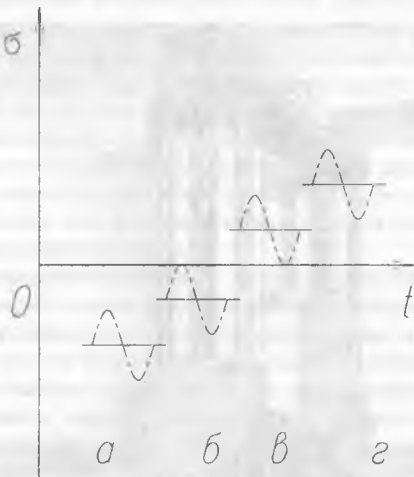


Рисунок 2 – Характеристики малоцикловых испытаний материалов на разрывной машине ИР 5145-500-10.

Характер процесса разрушения образца при сжатии отличается от характера разрушения образца при растяжении в зависимости от свойств испытываемого материала. При сжатии образца после его разрушения спад нагрузки длительный и пологий, без резких изменений. Поэтому для настройки автоматической остановки процесса испытания на сжатие имеется возможность ввести не только число процентов, но и время за которое этот спад определяется. Время и величина спада нагрузки в процентах вместе определяют скорость уменьшения нагрузки после разрушения образца.

Для определения скорости перемещения активного захвата, которая бы обеспечивала скорость нагружения в заданных пределах, надо воспользоваться выражением:

$$V_{a.z.} = V_n \cdot (K_o + K_{u.y.}) \cdot F_o \cdot 60, \quad (1)$$

где $V_{a.z.}$ - скорость перемещения активного захвата, мм/мин;

V_n - заданная скорость нагружения, Н/мм²·с⁻¹;

K_o - податливость образца, мм/Н;

$K_{u.y.}$ - податливость испытательной установки, которая для разрывной машины ИР 5145-500-10 составляет около 0,00002 мм/Н;

F_o - площадь поперечного сечения рабочего участка образца, мм².

Податливость образца может быть определена из выражения:

$$K_o = \frac{l}{E \cdot F_o}, \quad (2)$$

где K_o - податливость образца, мм/Н;

l - рабочая длина образца по ГОСТ 1497, мм;

E - модуль продольной упругости, Н/мм².

Скорость перемещения активного захвата можно корректировать в процессе испытания.

Полученные в процессе испытания результаты выводятся на монитор, или на принтер с пульта оператора ПО-3.

Для проверки силоизмерительной системы и ввода автоматической коррекции показаний силоизмерительной системы предусмотрен режим тарирования показаниями динамометра.

Разрывная машина ИР 5145-500-10 с наибольшей предельной нагрузкой 500 кН предназначена для испытаний на растяжение образцов из металлов, прямоугольных и цилиндрических бетонных образцов, деревянных образцов, а также образцов на сжатие и изгиб.

Испытания на растяжение проводятся: для металлических образцов согласно ГОСТ 1497-84 "Металлы. Методы испытания на растяжение"[4] на стандартных образцах; для бетонных прямоугольных и цилиндрических образцов согласно ГОСТ 10180-90 "Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам"[3], для деревянных образцов вдоль и поперек волокон по ГОСТ 11493-65 "Древесина. Методы определения предела прочности при растяжении".

С помощью разрывной машины ИР 5145-500-10 возможно определение коэффициента интенсивности напряжения, используемого для однопараметрического описания полей напряжения и деформаций вблизи кончика трещины. Величина K_C - комплексный инвариантный интегральный параметр свойств материала, его структуры, действующей нагрузки, его долговечности.

Для стальных круглых образцов с кольцевым надрезом коэффициент интенсивности напряжений:

$$K_I = \frac{P}{D\sqrt{d}} M_I, \quad (3)$$


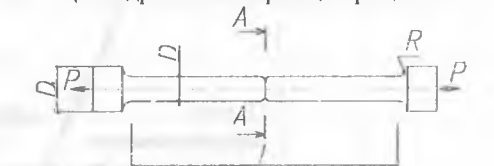

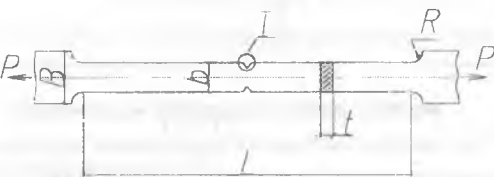
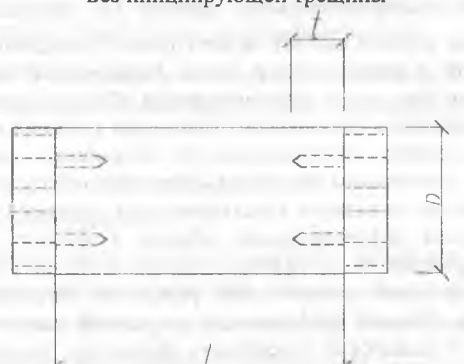
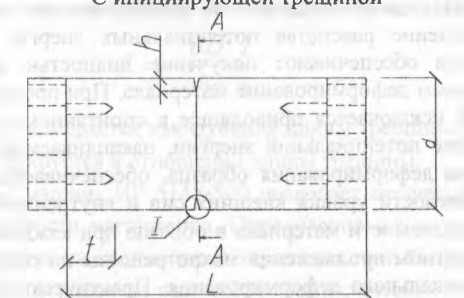
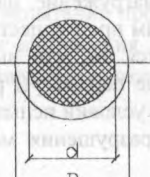
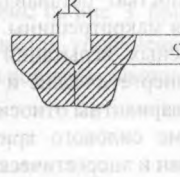
$$M_I = 0.7978 \sqrt{\frac{d}{D} \left[1 - \left(1 - \frac{2S}{D} \right) \frac{d}{D} \right]} \times \left[1 + \sqrt{1 + 3 \frac{2S}{D} \left(\frac{D}{d} - 1 \right)} \right]^2 \times \sqrt{1 + \left(\frac{2S}{d} - 0.8012 \right) \frac{d}{D}}$$

где P - разрушающая нагрузка, D - внешний диаметр образца, d - внутренний диаметр образца, образованный кольцевым концентратором, S - диаметр образца, при котором он начинает работать на сдвиг.

Для бетонных цилиндрических образцов диаметром D с внешней кольцевой трещиной и внутренним контуром диаметром d коэффициент интенсивности напряжений представляют в виде [6]:

$$K_{IC} = \sigma_n \sqrt{\pi a_1}, \quad (4)$$

Таблица 1.

| № п/п | Форма образца | Соотношение размеров образца | Характеристики, получаемые в процессе испытаний |
|------------------------------|---|--|--|
| <i>Металлические образцы</i> | | | |
| 1 | <p style="text-align: center;">Цилиндрический образец</p>  <p style="text-align: center;">Цилиндрический образец с трещиной</p>  <p style="text-align: center;">A-A</p>  <p style="text-align: center;">Плоский образец</p>  | <p style="text-align: center;">$D_1 = 1.5D$ $R = 0.25D$ $L = 5D$</p> <p style="text-align: center;">$d = (0.6..0.7)D$ $D_1 = 1.5D$ $h = 0.07D$ $R = 0.25D$ $K = 0.03D$ $L = 5D$ $2S/d < 0.1$ $d/D \leq 0.7$</p> | <p>Полная диаграмма деформирования, физического предела текучести, условного предела текучести, предел пропорциональности и предел упругости, временное сопротивление, истинное сопротивление разрыву, относительное удлинение после разрыва, относительное сужение после разрыва, характеристики вязкости разрушения.</p> |
| <i>Бетонные образцы</i> | | | |
| 2 | <p style="text-align: center;">Без инициирующей трещины</p>  | <p style="text-align: center;">$t = 0.3D$ $L = 2D$</p> | <p>Полная диаграмма деформирования, предел прочности на растяжение.</p> |
| 3 | <p style="text-align: center;">С инициирующей трещиной</p>  <p style="text-align: center;">A-A</p>   | <p style="text-align: center;">$h = 0.1D$ $t = 0.3D$ $L = 2D$ $d = 0.8D$</p> | <p>Полная диаграмма деформирования, характеристики вязкости разрушения.</p> |

Растяжение стальных образцов

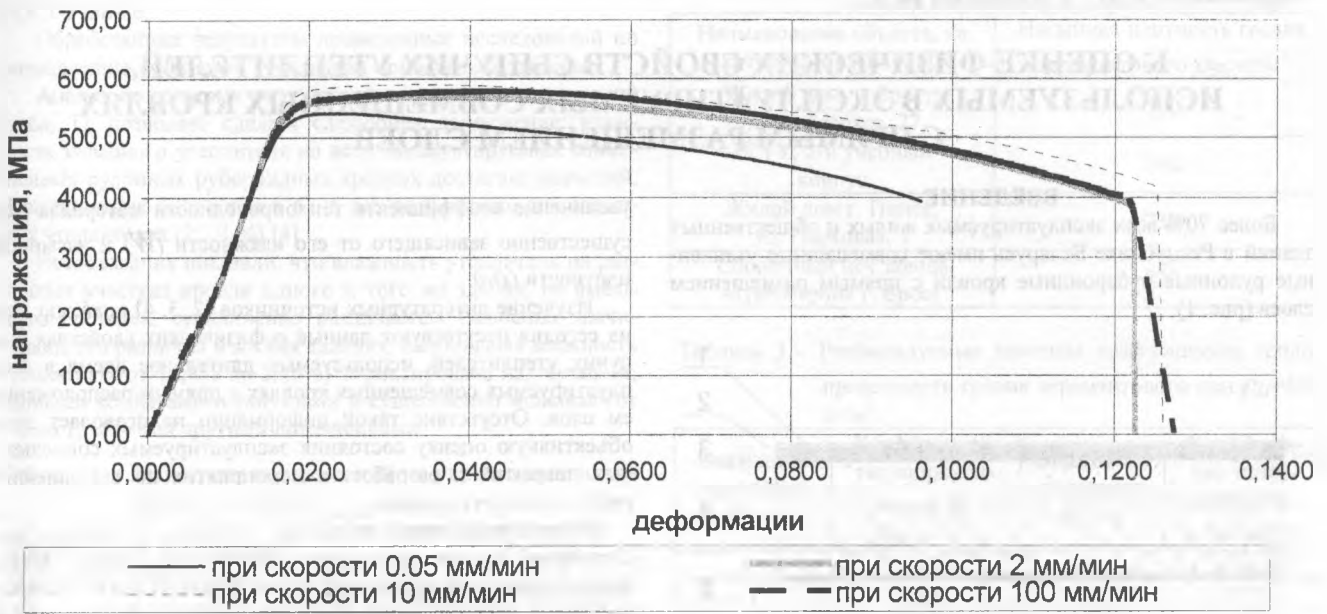


Рисунок 3 – Диаграмма деформирования стали 45 при испытаниях с различной скоростью нагружения.

$$G = G_c \quad (8)$$

Для плоской деформации [5]:

$$G = \frac{1-\nu^2}{E} (K_I^2 + K_{II}^2), \quad (9)$$

где G_c - удельная (эффективная) работа разрушения.

Величина G характеризует энергию, необходимую для образования единицы новой поверхности. Рассчитывают ее по формуле:

$$G = \pi \sigma^2 a / E, \quad (10)$$

где a - полудлина трещины.

В настоящее время одним из наиболее перспективных критериев разрушения при наличии трещин, как в упругой, так и в упругопластических областях является J -интеграл.

Экспериментальная методика определения J -интеграла основана на измерении энергии деформации образца U [6]:

$$J = - \frac{\partial U}{\partial a} \frac{1}{b}, \quad (11)$$

Энергия U измеряется как функция длины трещины, а затем дифференцируется в отношении длины трещины.

Разрывная машина ИР 5145-500 позволяет осуществлять различные скорости нагружения. Определение влияния скорости нагружения на прочностные характеристики было проведено при испытаниях на растяжение металлических образцов на стали 45.

Результаты испытаний представлены на рис. 3. при увеличении скорости нагружения наблюдается упрочнение материала, а также увеличение относительной деформации.

Необходимо дальнейшие исследования для установления четкой зависимости между скоростью нагружения и характеристиками нагружения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- ГОСТ 25.506-85. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 61с.
- ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 18с.
- ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 61с.
- ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытания на растяжение. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 61с.
- Е.А.Гузев, С.Н.Леонович, К.А.Пирадов. Механика разрушения бетона: вопросы теории и практики. – Брест: БПИ, 1999. – 217 с.
- Механика разрушения и прочность материалов: Справ. Пособие: В 4 т./ Под общей ред. Панасюка В.В. – Киев: Наук. Думка, 1988 – ISBN 5-12-000300-1.
- Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей: Учеб. Пособие для строит. вузов. – М.: Высш. Шк., 1991. – 288 с.
- Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений: В 2-х томах.: Пер.с англ./Под ред. Ю.Мураками. – М.: Мир, 1990. – 1016 с.