

УДК 539.421,691.327

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ИСТИРАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2011 г.

Н.В. Макарова, М.В. Полоник

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток

polonic@iacp.dvo.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

С учетом структуры материала моделируется процесс истирания неоднородной поверхности бетонов различного состава. На основе экспериментальных исследований обосновывается выбор структурных уровней механизма истирания. Для анализа процесса изменения формы истираемой поверхности используется математический аппарат механики контактного взаимодействия. Рассматриваются критерии степени износа, даются рекомендации для составления износостойчивых композиций бетонов.

Ключевые слова: трибология, бетон, механика контактного взаимодействия, разрушение.

При проектировании гидротехнических и транспортных железобетонных конструкций достаточно часто возникает проблема деградации бетонной поверхности, подвергшейся истирающему воздействию, что приводит к уменьшению эффективной толщины и конструктивной схемы элементов. Однако сопротивление истиранию до настоящего времени остается наименее изученным свойством таких материалов, что связано со сложностью экспериментального получения данных характеристик [1].

Особенности моделирования процесса истирания бетона в первую очередь связаны с существенной неоднородностью данного материала. В [2, 3] износ поверхности с учетом структуры материала представлен как результат выпадения зерен заполнителя из цементно-песчаной матрицы при оголении их на определенную величину, сопоставимую с размером крупного заполнителя. В то же время на протяжении достаточно длительного эксплуатационного периода конструкций изменение поверхности происходит только за счет износа тонких приповерхностных слоев, что оказывает существенное влияние на выбор критерия разрушения на различных структурных уровнях.

Выбор структурных уровней непосредственно связан с экспериментальными исследованиями механизма истирания бетона и, согласно [4, 5], может быть разделен на три стадии:

I – начальная стадия. Происходит процесс изнашивания цементного камня, сольватных оболочек и обнажение зерен крупного и мелкого заполнителей. Моделирование на данной стадии не представляется трудным; поверхность бетона может быть принята однородной.

II – нормальная эксплуатационная стадия. На этой стадии происходит процесс истирания зерен крупного заполнителя и цементно-песчаной матрицы, причем с разной скоростью, зависящей от их физических свойств. После обнажения поверхности зерен крупного заполнителя поверхность представлена совокупностью областей с различными трибологическими характеристиками.

III – стадия разрушения поверхности бетона. Происходит усталостное разрушение матрицы (объемное микрорастрескивание) между зернами крупного заполнителя, приводящее к их выпадению, что характерно для бетона с малопрочной цементно-песчаной матрицей, либо прорастание усталостной макротрещины на границе между зернами крупного заполнителя и цементно-песчаной матрицей, что характерно для высокопрочных бетонов.

Степень истирания бетона в начальной стадии может быть представлена как $\frac{d\omega_*}{dt}$, которая зависит от скорости v , давления p на контакте поверхности, твердости материала H , а также от параметров, имеющих определенное значение для каждого механизма процесса изнашивания и используемых для его моделирования.

В нормальной эксплуатационной стадии происходит неравномерное изнашивание материала. Более мягкая структура мелкого заполнителя цементной матрицы разрушается, в результате чего достаточно ровная поверхность становится волнообразной – зерна крупного заполнителя обнажаются на поверхности. Применение предыдущей модели становится затруднительным.

В этой стадии процесс изнашивания должен рассматриваться одновременно на микро- и ме-

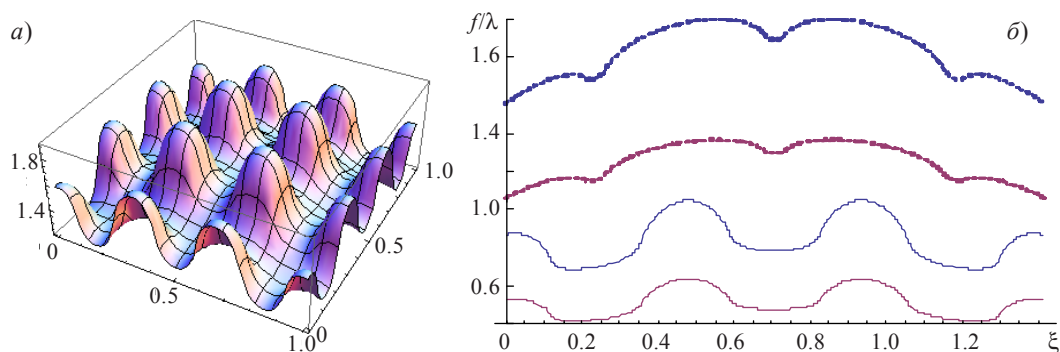


Рис. 1

зоуровнях. На мезоуровне происходит истирание поверхности заполнителя, на микроуровне – разрушение цементной матрицы, которое и приводит к изменению формы поверхности.

Приняв давление p и скорость v постоянными, для исследования процесса изнашивания бетона с учетом его неоднородности возможно применить математические инструменты механики контактного взаимодействия [6]. Поверхность бетона может быть представлена как упругое полупространство с областью Ω , усиленной в круговых (или другой конфигурации) областях ω_{ij} радиуса a , в узлах квадратной решетки с шагом l . Примем $\omega = \bigcup_{i,j=1}^k \omega_{ij}$ (40–60% для бетона) – общая площадь упрочненных областей; K_{ω_1} , K_{ω_2} – параметры, характеризующие степень износа неупрочненных и упрочненных областей соответственно, при этом $K_{\omega_1} > K_{\omega_2}$.

Параметр $m = K_{\omega_2} / K_{\omega_1}$ (0.3–0.9 для бетона) характеризует степень упрочнения поверхности. Параметр $\bar{a} = a/l$ характеризует геометрические параметры поверхности, P_{∞} – значение установившейся нагрузки на периоде l .

В установившемся режиме изнашивания получены формы истирания изношенной поверхности $f(x, y)$ полупространства бетона Ω . Серия вычислительных экспериментов позволила изучить зависимость $f(x, y)$ моделируемой функции от варьируемых значений \bar{a} и $m_2 = m^{-1} - 1$ [7] и от крупности зерен и их количества в рассматриваемом объеме. Полученные результаты дают основание заключить, что расположение упрочненных зон оказывает существенное влияние на формируемый в процессе изнашивания рельеф поверхности.

На рис. 1 изображен профиль изношенной поверхности в диагональном поперечном сечении (б) при расположении упрочненных зон (а) при $m_2 = 0.9$, $m_2 = 0.5$: сплошная линия при $\bar{a} = 0.25$; штриховая линия при $\bar{a} = 0.45$. Показано, что

вследствие ограниченности области контакта равномерно упрочненные зоны изнашиваются неравномерно (см. рис. 1, имеет место краевой эффект).

Полученные оценки позволяют сформулировать конкретные рекомендации для подбора состава и технологических параметров бетонов с высокой стойкостью к истиранию.

Накопление экспериментальных данных по исследованию процесса деградации приповерхностного слоя бетона при истирании с учетом его структуры позволит уточнить расчетные модели, используемые как для оценки ресурса конструкций, так и для проектирования оптимальных бетонных композиций.

Список литературы

- ГОСТ 13087-81. Бетоны. Методы определения истираемости.
- Itoh Y., Yoshida A., Tsuchiya M., Katoh K. An experimental study on abrasion of concrete due to sea ice // Proc. of Offshore Technology Conference. 1988. OTC 5687.
- Saeki H., Asai Y., Izumi K., Takeuchi T. Study of the abrasion of Concrete due to Sea Ice // The 20th Marine Development Symposium. Japan. 1988.
- Makarova N.V. Experimental and theoretical investigation on abrasion strength of concrete // Assessment of Reliability of Materials and Structures. Problems and Solutions: Proc. Intern. Conference. SPb.: Polytechnic University Publishing, 2008. P. 219–224.
- Макарова Н.В. Об учете неоднородности при моделировании процесса истирания бетона // Вестник гражданских инженеров. 2009. №3. С. 137–139.
- Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. М.: Наука, 2001. 478 с.
- Макарова Н.В., Полоник М.В. К проблеме учета неоднородности при моделировании процесса истирания бетона // Вестник ЧГУУ им. И.Я. Яковлева. Сер. Механика предельного состояния: Проблемы нелинейной механики и неупругого деформирования твердых тел. 2010. №2 (8). С. 326–332.

FORMATION OF THE RELIEF OF SURFACE ABRASION OF INHOMOGENEOUS MATERIALS

N.V. Makarova, M.V. Polonik

The process of inhomogeneous surface abrasion of concretes of different composition is modeled, taking account of the structure of the material. Based on the experimental studies, the choice of structural levels of the mechanism of wear is substantiated. To analyze the process of shape changing of the surface abrasion, the mathematical tools of mechanics of contact interaction are used. The criteria for the degree of wear are examined; recommendations for the preparation of wear-resistant concrete tracks are given.

Keywords: tribology, concrete, mechanics of contact interaction, failure.