УДК 691.32

ОСОБЕННОСТИ ПРЕССОВАНИЯ ФИБРОБЕТОНОВ НА ЗАПОЛНИТЕЛЕ ИЗ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР

А. А. ЛЕОНОВИЧ, Е.В.МАРКОВ, А. А. ЛЕОНОВИЧ, Д. О. КУЗМЕНКО
Научный руководитель И. А. ЛЕОНОВИЧ
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Использование полых микросфер, керамических, стеклянных, алюмосиликатных и т.д., в качестве поризующего заполнителя, позволяет изготавливать композиты равномерной мелкозернистой структуры, обладающих целым набором положительных качеств. Технология изготовления изделий из таких материалов бывает связана с приложением всестороннего давящего усилия, например, при изготовлении малых архитектурных форм из прессованного бетона.

Давление прессования должно быть выверено таким образом, чтобы жидкая фаза в смеси создала непрерывную пространственную матрицу, а микросферы не утратили своей целостности, обеспечивающей требуемые показатели композита по плотности, водонепроницаемости, звукоизоляции т.п. При этом желательно применение возможно меньшего давления прессования, которое определяет мощность пресса, а значит стоимость и экономичность техпроцесса.

В зависимости от давления прессования материал может иметь структуру трех разновидностей. Рыхлая малопрочная структура с сообщающимися пустотами в цементной матрице образуется при недостаточных давлениях прессования. Такое изделие отличается значительным водопоглощением (20–25 % масс.) и плохо сформированной поверхностью с дефектами рисунка гравюры формы. Увеличение давления прессования приводит к уплотнению цементной матрицы при сохранении целостности микросфер, концентрация которых определяет плотность материала. Для заданного состава бетонной смеси прочностные свойства при такой структуре достигают максимальных значений при минимальном водопоглощении. Дальнейший рост давления прессования вызывает разрушение оболочек микросфер при увеличении средней плотности материала и при практически неизменной прочности.

Нижняя граница давления прессования p_{min}, достаточная для получения четкого отпечатка гравюры формы на поверхности бетона, устанавливается экспериментально. Верхняя граница, соответствующая предельному давлению p_u, разрушающему оболочки микросфер, определяется из анализа их напряженного состояния. Рассчитаем предельное давление прессования, для чего воспользуемся моделью толстостенной сферы, нагруженной внешним гидростатическим давлением (рис. 1). На элементе стенки показаны действующие главные напряжения соответственно по трем направлениям: σ_r – радиальное, σ_t – осевое и σ_m – меридиональное напряжения. Величина напряжений в упругой области деформирования, характер изменения которых показан в виде эпюр, рассчитывается по формулам Ламе.

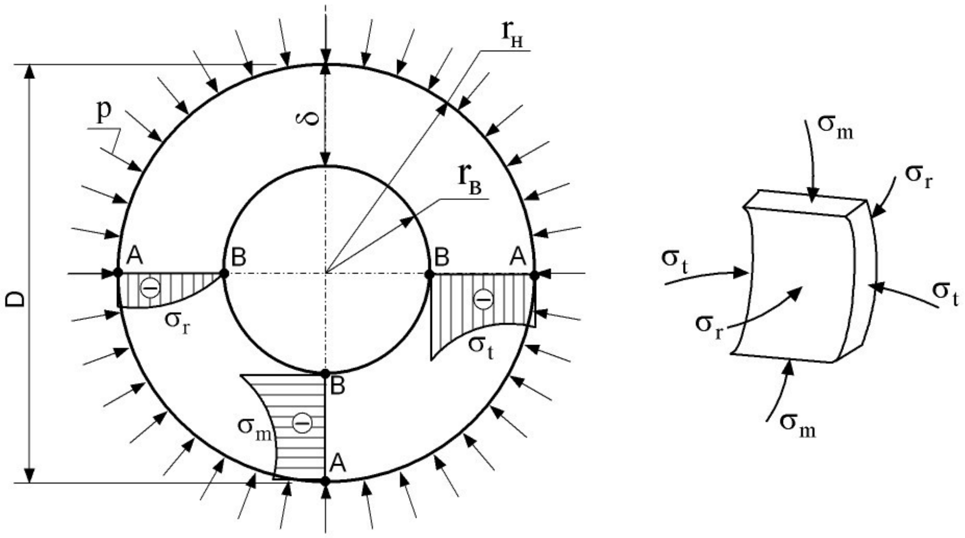

Рис. 1. Модель нагружения микросферы и эпюры распределения напряжений по толщине стенки для толстостенной оболочки

Эквивалентное напряжение σ_{red} в наиболее нагруженных точках внутренней поверхности сферы (В), рассчитанное по III и IV теориям прочности для сферы, находящейся в условиях всестороннего сжатия, оказались равны:

$$\sigma_{red}^{B} = \frac{2 \cdot p \cdot r_н^2}{r_н^2 - r_в^2}, \tag{1}$$

где $r_н$ и $r_в$ соответственно наружный и внутренний радиусы сферы ; p – действующее давление прессования.

Применение указанных теорий для хрупких материалов возможно в тех случаях, когда разрушение путем отрыва не наблюдается.

Опасное значение давления прессования p_{dan}, соответствующее моменту нагружения, при котором на внутренней поверхности микросферы достигается предел прочности материала на сжатие σ_u, равно:

$$p_{dan} = \frac{\sigma_u}{2} \cdot \left(1 - \frac{r_в^2}{r_н^2}\right) = 2 \cdot \sigma_u \cdot \frac{\delta}{D} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{D}\right) \quad . \tag{2}$$

Всестороннее гидростатическое сжатие создает сложную картину деформаций и напряжений, при которой предельное состояние предположительно может наступить, когда напряжения по всей толщине сферы станут равны пределу прочности на сжатие.

Воспользуемся математическими выводами плоской осесимметричной задачи теории упругости. Уравнение равновесия, полученное проектированием всех сил на нормаль к элементу сферы, содержит все три действующих главных напряжения:

$$(\sigma_r - \sigma_t) + (\sigma_r - \sigma_m) + r \cdot \frac{d\sigma_r}{dr} = 0 . \tag{3}$$

В предельном состоянии $(\sigma_r - \sigma_t) = (\sigma_r - \sigma_m) = \sigma_u$, следовательно:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = -\frac{2 \cdot \sigma_u}{r} . \tag{4}$$

Интегрируя уравнение (4) с учетом граничных условий: $\sigma_r(r_н) = -p$ и $\sigma_r(r_в) = 0$, получаем формулу для расчета предельного давления p_u

$$p_u = 2 \cdot \sigma_u \cdot \ell n \frac{r_н}{r_в} = 2 \cdot \sigma_u \cdot \ell n (1 - 2 \cdot \frac{\delta}{D})^{-1} . \tag{5}$$

Для сплошной сферы при $\delta/D = 0{,}5$ выражение (5) не имеет решения. Разложив натуральный логарифм в ряд до первого члена, получим приближенную формулу для расчета предельного давления

$$p_u = 4 \cdot \sigma_u \cdot \frac{\delta}{D}(1 - \frac{\delta}{D})^{-1} . \tag{6}$$

Точное решение методами теории упругости совпадает с приближенным решением при $\delta/D \le 0{,}2$. С дальнейшим увеличением толстостенности сферы предельное давление прессования превышает предел прочности материала. Для сплошной сферы по формуле (5) – разрушающее давление прессования p_u бесконечно большое; по формуле (6) – разрушающее давление должно превысить предел прочности материала на осевое сжатие в 4 раза. Опасное давление p_{dan} не превышает предела прочности материала на осевое сжатие, а для сплошных сфер оно равно его половине. Учитывая неоправданно большой запас прочности при расчете по формуле (2), предельное давление, ограничивающее прессование бетонных изделий на заполнителе из микросфер, следует рассчитывать по формуле (5) или (6).

Получены зависимости между параметром δ/D и предельным усилием прессования поризованного микросферами бетона.