

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ПОВЕДЕНИЕ БЕТОНА ПОД НАГРУЗКОЙ

Дорофеев А.В. (Одесская Государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Проведен анализ влияния остаточных (технологических) деформаций на перераспределение деформаций под нагрузкой между отдельными структурными составляющими в зависимости от уровня адгезионно-когезионных сил связи между ними.

Известно, что формирование остаточного деформативного (технологического, наследственного) состояния определяется количеством и способами укладки заполнителей и, в основном, уровнем адгезионно-когезионных сил связи на внутренней поверхности раздела (ВПР). Возникшие технологические деформации "замораживаются" в макроструктуре бетона, и, без специальных мероприятий, сохраняются в материале изделия до приложения к нему внешних (эксплуатационных) нагрузок. Можно предположить, что деформации материала от внешних нагрузок будут определенным образом взаимодействовать с внутренними локальными и интегральными деформациями. Это должно привести к перераспределению деформаций (технологических и эксплуатационных) между структурными элементами. Подобное перераспределение может изменить начальную схему распределения деформаций и снизить индивидуальное участие отдельных составляющих структуры в работе гетерогенного материала под нагрузкой. Это предположение определило задачу исследований – проанализировать влияние технологических деформаций на перераспределение деформаций в макроструктуре, возникающих под действием внешних нагрузок.

Опыты проводились на моделях структуры бетона, изготовленных из фотоупругих материалов. В опытах применялись два вида заполнителей – заполнители специально изготовленные из материала матрицы с равными модулями упругости  $E_3 = E_m$ , где  $E_3$  и  $E_m$  – модули упругости заполнителя и матрицы соответственно; заполнители в виде металлических колец ( $E_3 \gg E_m$ ). Анализ проводили по качественно отличным картинам распределения интерферентных полос в плоских

моделях структурных ячеек бетона. Нагружение моделей проводили по схеме, представленной на рис. 1.

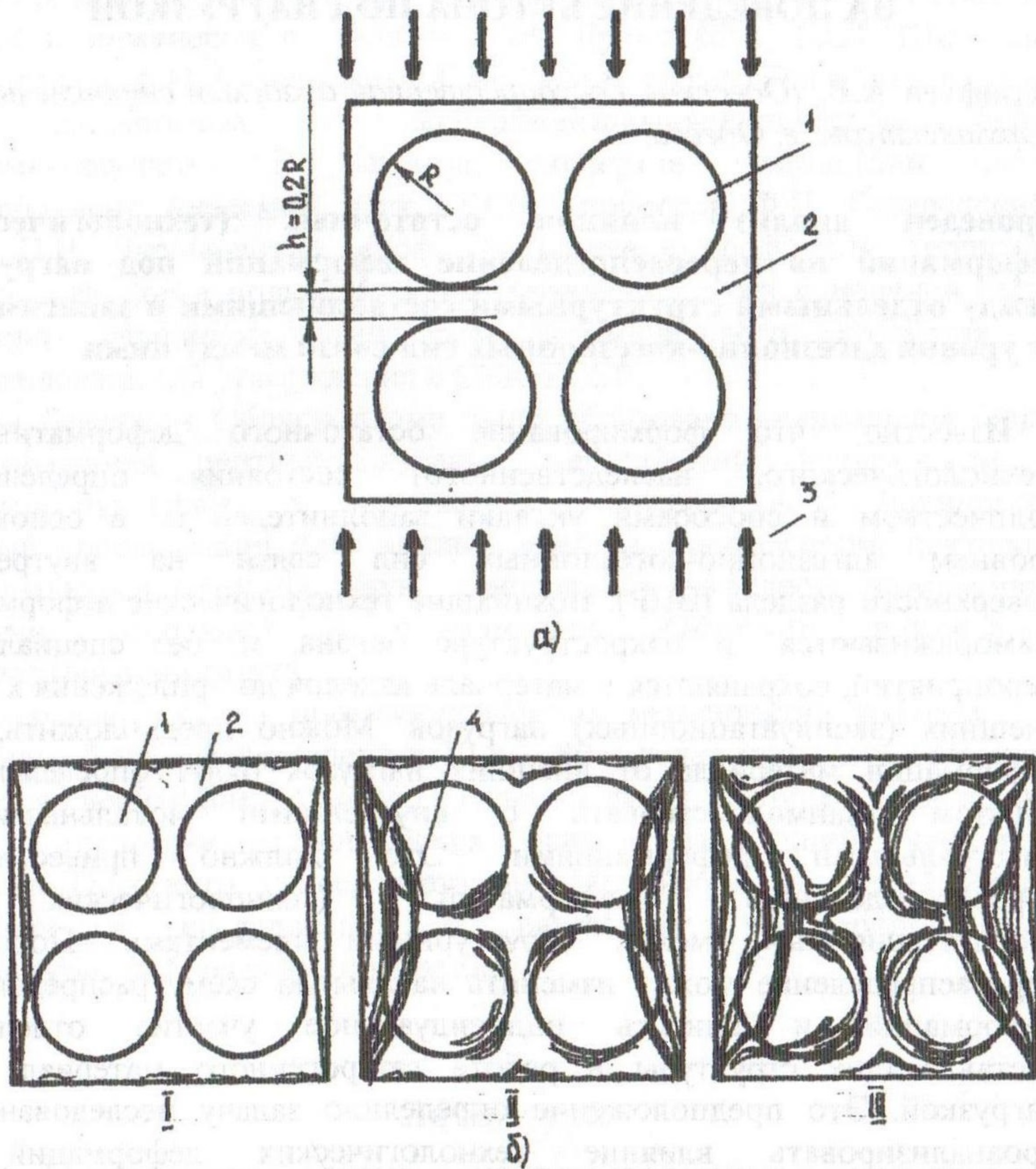


Рис. 1. Характер распределения деформаций при действии внешних нагрузок.

а) – схема испытаний; б) – распределение деформаций в плоской модели без остаточных деформаций.

1 – заполнители; 2 – матрица; 3 – внешняя нагрузка; 4 – интерферентные полосы; I, II, III – этапы нагружения

Для выявления влияния остаточных деформаций на распределение деформаций, возникающих под действием внешних нагрузок, необходимо снять (релаксировать) технологические деформации с модели бетона. Для этого модель бетона для случая  $R_a < R_k$ , в которой в качестве заполнителей приняты заполнители в виде дисков из материала матрицы нагревалось в воде при  $T=340\text{K}$  в течение 10 часов. Охлаждение проводилось в воде со скоростью  $\text{K}/\text{час}$ . Такой режим релаксации остаточных деформаций позволил получить оптически изотропную модель, которая была принята за базовую, с которой сравнивалось поведения моделей, в которых были зафиксированы технологические деформации. Полностью релаксировать остаточные деформации при иных видах заполнителей и при иных соотношениях  $R_a$  и  $R_k$  нам не удалось.

Нагружение моделей осуществлялось этапами, которые составляли I – 0,2; II – 0,3; III – 0,6 от разрушающей нагрузки. Средняя разрушающая нагрузка моделей составляла  $P = 120\text{кг}$ .

При действии внешней нагрузки в модели, в которой были сняты остаточные деформации, развиваются деформации по известной схеме испытания образцов при трении о плиты нагружающего устройства. Нагружение до  $P=0,3P_p$  вызывает равномерное развитие деформаций, максимальное значение которых наблюдается в центральной части моделей. При этом интерферентные полосы проходят достаточно равномерно через матрицу и заполнители. Увеличение нагрузки до  $P>0,3P_p$  ведет к появлению деформаций в заполнителях и локальных деформаций в матричном материале. Можно предположить, что при возрастающих нагрузках адгезионные связи “матрица-заполнитель” нарушаются. Это ведет к тому, что заполнители как самостоятельные структурные элементы, воспринимают часть силовых деформаций и через ВПР передают их на окружающую матрицу. Наряду с интегральным распределением силовых деформаций возникают локальные деформации как в самих заполнителях, так и в окружающей матрице. Разрушение хрупкое, при котором трещины проходят через матрицу и заполнители.

Нагружение моделей, в которых распределены технологические деформации, вызывает качественно иное перераспределение деформаций при действии внешней нагрузки. Для случая  $R_a < R_k$  (рис.2.а) увеличение нагрузки до  $P=0,3P_p$  вызывает появление деформаций, которые трансформировались с остаточного распределения деформаций и огибают поверхность заполнителей. Увеличение нагрузки до  $P=0,6P_p$  вызывает появление локальных

деформаций в заполнителях и матричном материале. Это связано с деформациями матричного материала, при которых матрица в отдельных зонах передает усилия на наполнитель. При сохранении характерного для эпоксидной смолы хрупкого разрушения, трещины проходят только через матрицу.

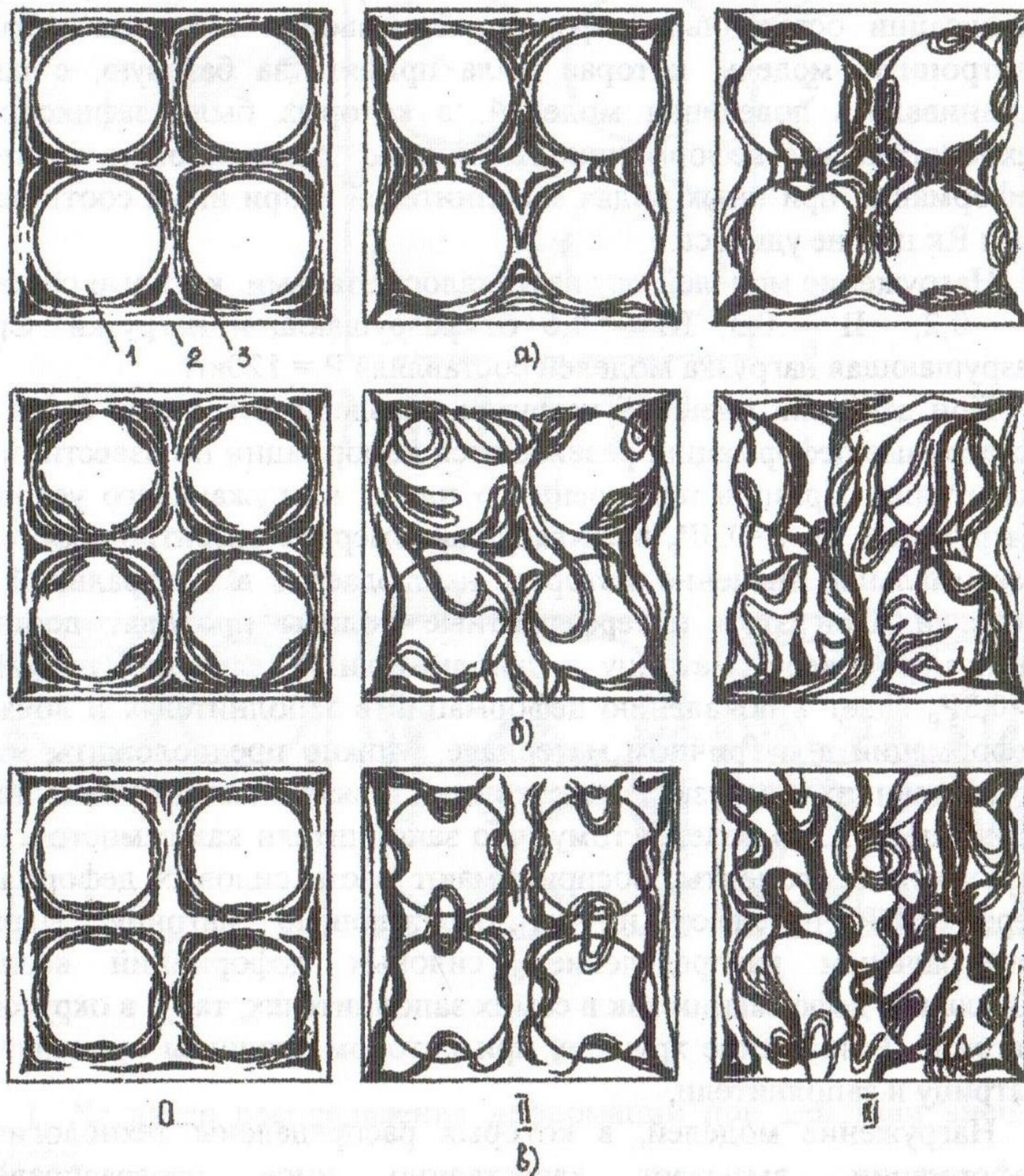


Рис.2. Перераспределение технологических деформаций между матрицей и заполнителями при действии внешних нагрузок.

а) –  $R_a < R_k$ ; б) –  $R_a > R_k$ ; в) –  $R_a = R_k$ .

1 – заполнители из материала матрицы; 2 – матрица; 3 – интерферентные полосы; О – исходное состояние модели; I, II – этапы нагружения

При  $R_a < R_k$  остаточное поле деформаций полностью изменяет перераспределение деформаций, возникающих при нагружении модели (рис.2.б.).

В силу того, что технологические деформации неравномерно распределены как в заполнителе, так и в матричном материале (позиция О, рис.2.б.), то градиенты силовых деформаций, даже при совершенной адгезии усиливаются. При  $P=0,3P_p$  интегральные деформации распределены неравномерно, что может быть связано не столько с нарушением адгезионных связей, сколько с начальным неравномерным распределением технологических деформаций. Возникающие и усиливающиеся градиенты деформаций при возрастании внешней нагрузки до  $P=0,6P_p$  вызывает ступенчатое изменение деформаций на границе раздела "матрица-заполнитель" (позиция III, рис.2.б.). Это может свидетельствовать о частичном нарушении адгезионных сил связи на ВПР под действием возникающих градиентов, что подтверждает характер разрушения. При хрупком разрушении трещины проходят через матричный материал, заполнители и по границам раздела матричного материала с заполнителями.

Еще более сложная картина влияния остаточного поля деформаций на поведение модели под нагрузкой для случая  $R_a = R_k$ , рис.2.в.

Избирательная адгезия вызывает достаточно сложную картину распределения деформаций между матричным материалом и заполнителями уже на ранних этапах нагружения (позиция II, рис.2.б.). По мере увеличения нагрузки интерферентные полосы проходят через заполнители в участках с совершенной адгезией. Характерен смешанный тип разрушения – по матричному материалу, по заполнителю и по границе раздела матричного материала с заполнителями.

Аналогичный анализ проведен при изменении расстояния между заполнителями до  $h=0,4R$  и  $h=0,6R$ . Качественного изменения характера перераспределения деформаций нам обнаружить не удалось. Изменение характера влияния остаточного поля деформаций на поведение модели под нагрузкой наблюдается в случае применения заполнителей с высокими значениями модуля упругости  $E_3 \gg E_m$ , рис.3.

При  $R_a < R_k$  остаточное поле деформаций трансформируется в матричном материале в силовое поле деформаций, достаточно равномерно распределенное на всех этапах нагружения. Это может быть связано с сохранением упругих заполнителей своей формы при

действию на них деформаций матрицы (рис.3.а.). Совершенная адгезия (случай  $R_a > R_k$ ), изменяя начальное деформативное состояние (позиция 0, рис.3.б.), изменяет и распределение деформаций в модели при действии внешней нагрузки (позиции I, II, рис.3.б.). При разрушении поверхность заполнителя покрыта слоем матричного материала различных толщины и рельефа.

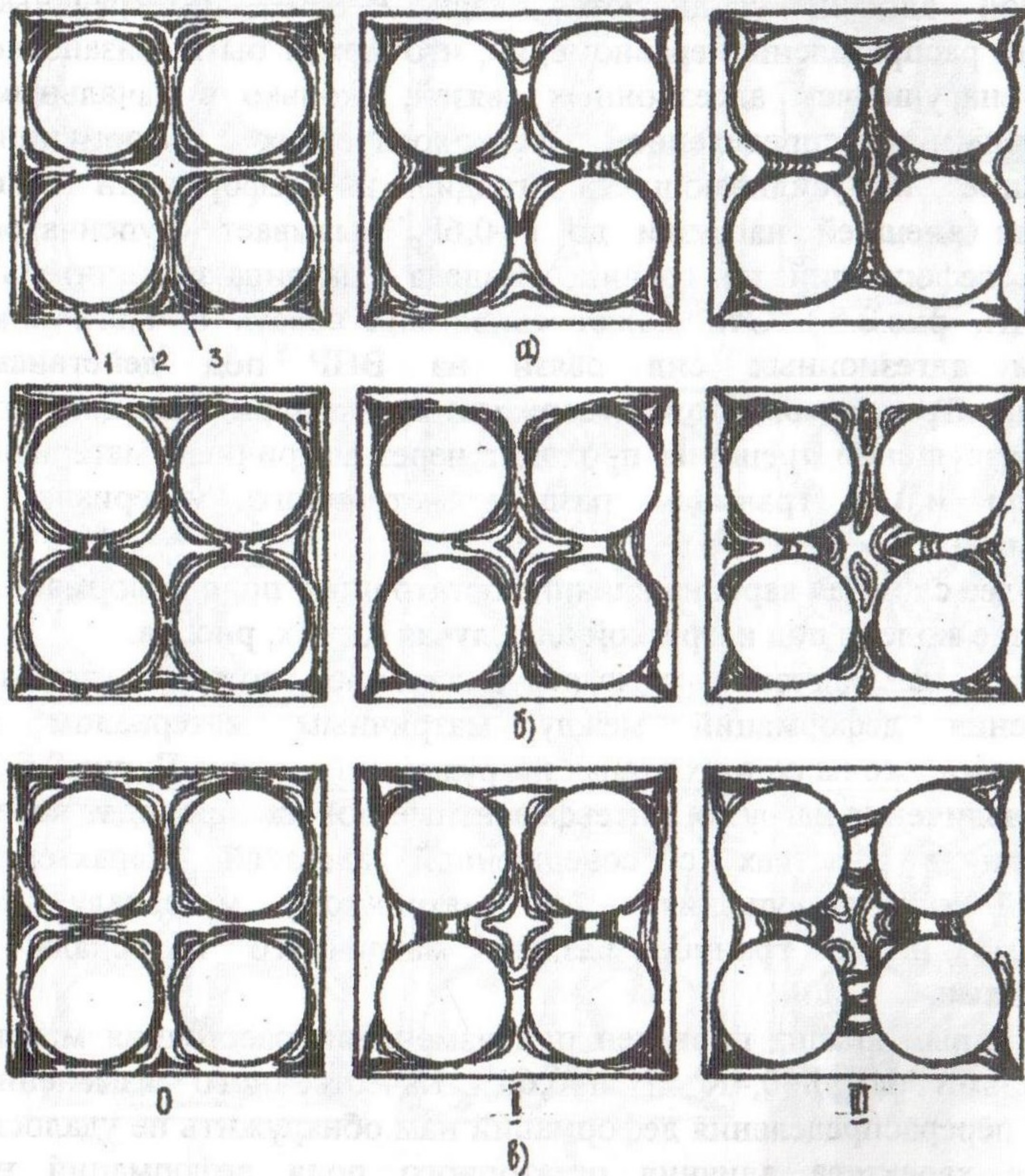


Рис.3. Характер перераспределения деформаций в модели бетона под действием внешних нагрузок

а) –  $R_a < R_k$ ; б) –  $R_a > R_k$ ; в) –  $R_a = R_k$ .

1 – заполнители в виде металлических колец; 2 – матрица; 3 – интерферентные полосы; 0 – исходное состояние модели; I, II – этапы нагружения

Более сложная картина влияния технологических деформаций на поведение модели под нагрузкой при  $R_a=R_k$ , рис.3.в.

Избирательный характер адгезии вызывает изменение достаточно равномерного распределения интерферентных полос после  $P=0,3P_p$  (позиция III, рис.3.в.).

Анализ показал, что использование в моделях заполнителей с высокими значениями деформативных характеристик способствует более равномерному распределению деформаций (за исключением ситуации, при которой реализуется избирательная адгезия).

Проведенные исследования позволяют заключить.

1. Технологические деформации, являясь объективными структурными параметрами, изменяют качественную картину возникновения и распределения деформаций, связанных с внешней нагрузкой. При действии на модель бетона внешних нагрузок, в первую очередь, происходит изменение остаточного поля деформаций. Это изменение связано с характером начального деформативного состояния, которое, в свою очередь, зависит от рецептурных факторов и технологических параметров получения бетонов.

2. Перераспределение деформаций между отдельными структурными составляющими зависит от уровня адгезионно-когезионных сил связи между ними. Так как от этого фактора зависит распределение технологических деформаций, то можно заключить, что остаточное поле деформаций при возможных ситуациях формирования ВПР ( $R_a < R_k$ ;  $R_a > R_k$ ;  $R_a = R_k$ ) и свойствах заполнителей в значительной степени определяет поведение гетерогенного материала под нагрузкой, что раскрывает технологические возможности изменять уровень межструктурных взаимодействий в требуемом направлении.

## Литература

1. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости//Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
2. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 165 с.
3. Дорофеев А.В., Выровой В.Н. Влияние макроструктурных параметров на деформативные характеристики бетонов//Вісник ОДАБА. – вип. 8. – Одеса: ОДАБА, 2002. – С. 40-47.