

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С ПОЛЯМИ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ВНЕШНИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Остаточные напряжения в массивах скальных пород, взаимодействуя с гравитационными, современными тектоническими и техногенными напряжениями, оказывают значительное влияние на характер и специфические особенности пространственного распределения в них результирующих полей напряжений /1/.

В связи с этим нами исследовалось взаимодействие полей остаточных напряжений в образце из оптически активного материала с полями напряжений, созданными внешними вертикальными и горизонтальными силами. В качестве метода моделирования использован широко применяемый в практике изучения напряжений в твердых телах поляризационно-оптический метод /2/.

Методика проведения эксперимента.

Характер пространственного распределения результирующих напряжений исследовался при взаимодействии полей напряжений в оптически активной твердой модели. Твердый оптически активный образец призматической формы был изготовлен из материала на основе эпоксидной смолы ЭД-6 размером $10 \times 5 \times 2$ см. В свободном от напряжений оптически активном образце путем термообработки были созданы поля остаточных напряжений. Термообработка заключалась в постепенном нагревании образца в термостате до определенной температуры с последующим резким его охлаждением. Ниже на рис. 1 показан образец с наведенными термообработкой полями остаточных напряжений. Его оптико-физико-механические характеристики: объемный вес $\gamma = 1,38$ г/см³, модуль упругости $E = (3,5 \div 3,6) \cdot 10^4$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,34$, оптический коэффициент $C = (1950 \div 2000) \cdot 10^{-7}$ см²/кг.

Величины главных нормальных и максимальных касательных напряжений в образце определялись поляризационно-оптическим методом. Для создания вертикальной и горизонтальной нагрузок оптически активного образца с остаточными напряжениями использовалось специальное нагрузочное устройство.

Результаты экспериментальных исследований.

Ниже в виде эпюр приведены три варианта распределения остаточных и результирующих напряжений по основным сечениям оптически активного образца, зарегистрированных в экспериментах. В первом варианте определены величины наведенных остаточных напряжений в образце (рис. 1) по его основным сечениям и установлен их характер распределения.

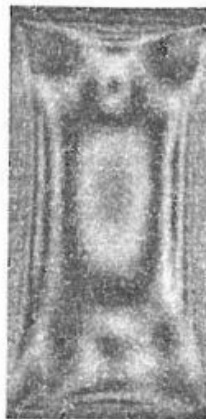


Рис. 1. Оптически активный образец с остаточными полями напряжений

На рис. 2, а приведены эпюры распределения остаточных напряжений по вертикальному сечению образца, из которых следует, что в этом направлении действуют и растягивающие, и сжимающие главные нормальные остаточные напряжения. Нетрудно заметить, что сжимающие напряжения в данном сечении превосходят по величине растягивающие напряжения. Характер распределения полей как главных нормальных, так и максимальных касательных остаточных напряжений по вертикальному сечению образца, как видно из эпюр (рис. 2, а, б), неоднородный, скачкообразный.

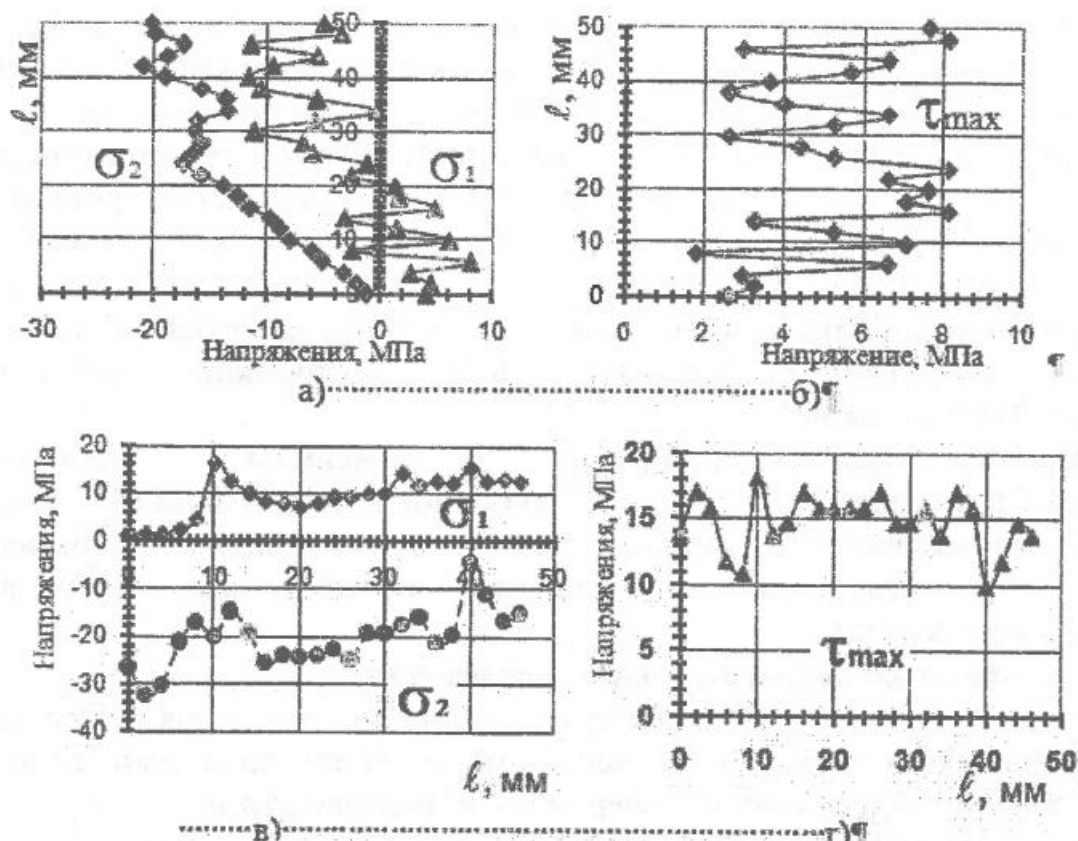


Рис. 2. Эпюры распределения главных нормальных и максимальных касательных остаточных напряжений: а, б – по вертикальному сечению; в, г – по горизонтальному сечению образца [3/

Эпюры распределения главных нормальных остаточных напряжений по горизонтальному сечению образца (рис. 2, в) показывают, что главное нормальное напряжение σ_1 является растягивающим, а второе главное нормальное напряжение σ_2 - сжимающим. Величины указанных напряжений в боковых частях образца выше, чем в его срединной зоне. Здесь имеет место неоднородное распределение данных напряжений в боковых его частях, и относительно равномерный характер – в срединной зоне (рис.2, в, г).

Сравнивая эпюры остаточных напряжений по двум основным сечениям образца, можно заметить, что величины главных нормальных остаточных напряжений по горизонтальному сечению в отдельных точках в 1,5 раза, а максимальных касательных напряжений – в 2,3 раза больше, чем по вертикальному сечению.

Во втором эксперименте рассматривалось взаимодействие остаточных напряжений в образце с полями напряжений, созданными внешними вертикальными и горизонтальными нагрузками. Для этого образец с остаточными полями напряжений (рис. 1) при помощи специального нагрузочного устройства нагружался вертикальной и горизонтальной нагрузками, где $P_V=1,5$ МПа, а $P_H=1$ МПа.

Эпюры результирующих напряжений приведены ниже на рис. 3, а, б, в, г. Из рисунка 3, а следует, что по вертикальному сечению образца при взаимодействии трех полей напряжений, как и в первом варианте моделирования, имеют место и растягивающие, и сжимающие результирующие напряжения. Максимальная величина сжимающих результирующих напряжений наблюдается вблизи торцевой части образца. Необходимо отметить, что в данном случае по вертикальному сечению образца наблюдается рост величин и зоны действия растягивающих результирующих напряжений. Характер распределения главных нормальных и максимальных касательных результирующих напряжений по вертикальному сечению образца имеет более спокойный вид сравнительно с характером распределения полей остаточных напряжений (рис. 3, а, б).

Из эпюр результирующих напряжений (рис. 3, в, г), видно, что по горизонтальному сечению образца наблюдается снижение величин как главных нормальных, так и максимальных касательных напряжений. В характере распределения главных нормальных и максимальных касательных результирующих напряжений по горизонтальному сечению образца, по сравнению с первым вариантом исследований, существенных различий не выявлено.

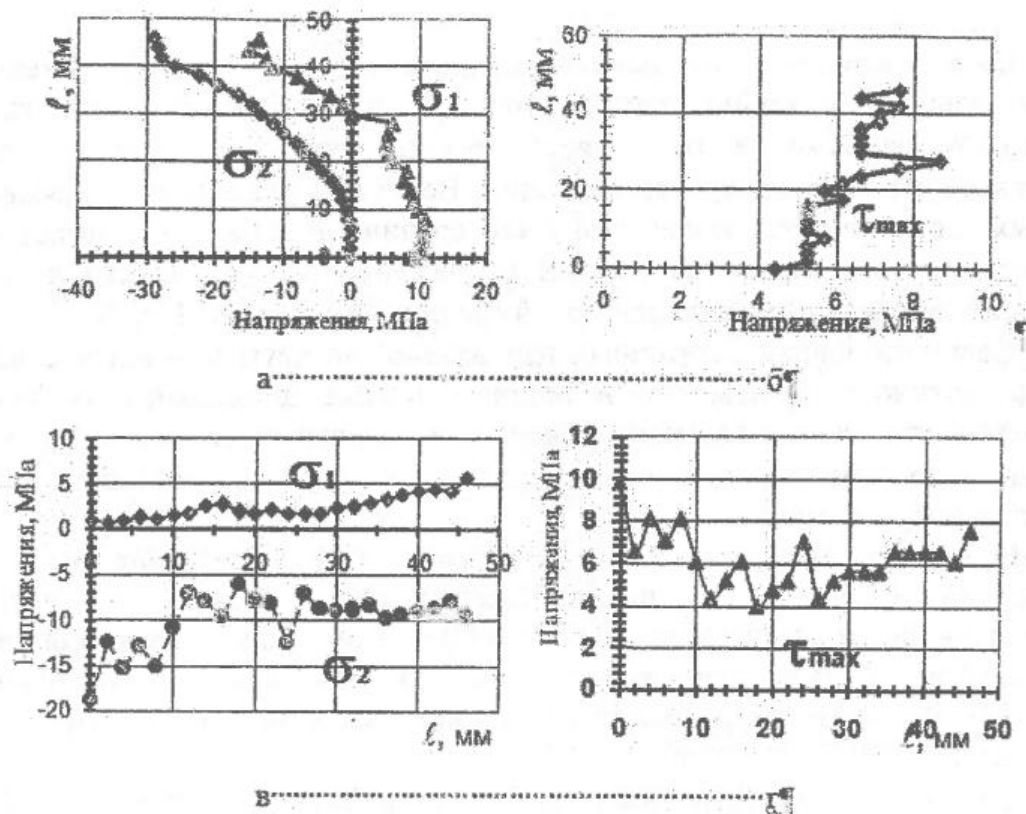


Рис. 3. Эпюры распределения главных нормальных и максимальных касательных результирующих напряжений: а, б – по вертикальному сечению; в, г – по горизонтальному сечению образца ($P_B=1,5$ МПа, а $P_F=1$ МПа)

В третьем эксперименте внешние нагрузки на образец с остаточными полями напряжений увеличены: вертикальная нагрузка – до $P_B=2,6$ МПа, а горизонтальная – до $P_F=1,7$ МПа. Эпюры распределения главных нормальных результирующих напряжений по вертикальному сечению образца показывают, что в результате увеличения внешних нагрузок на образец существенно увеличились величины и зона распространения растягивающих напряжений. Также изменился характер распределения результирующего напряжения σ_2 , приняв знакопеременный вид (рис. 3, а). Общий характер распределения главных нормальных результирующих и максимальных касательных напряжений по вертикальному сечению образца имеет знакопеременный, скачкообразный вид (рис. 4, а, б).

Из эпюр по горизонтальному сечению образца данного варианта моделирования (рис. 4, в) видно, что и здесь характер распределения главных нормальных результирующих напряжений заметно изменился. Наблюдается появление зоны высоких сжимающих результирующих напряжений. Общий, неоднородный характер распределения результирующих напряжений по горизонтальному сечению образца виден из рис. 4, г.

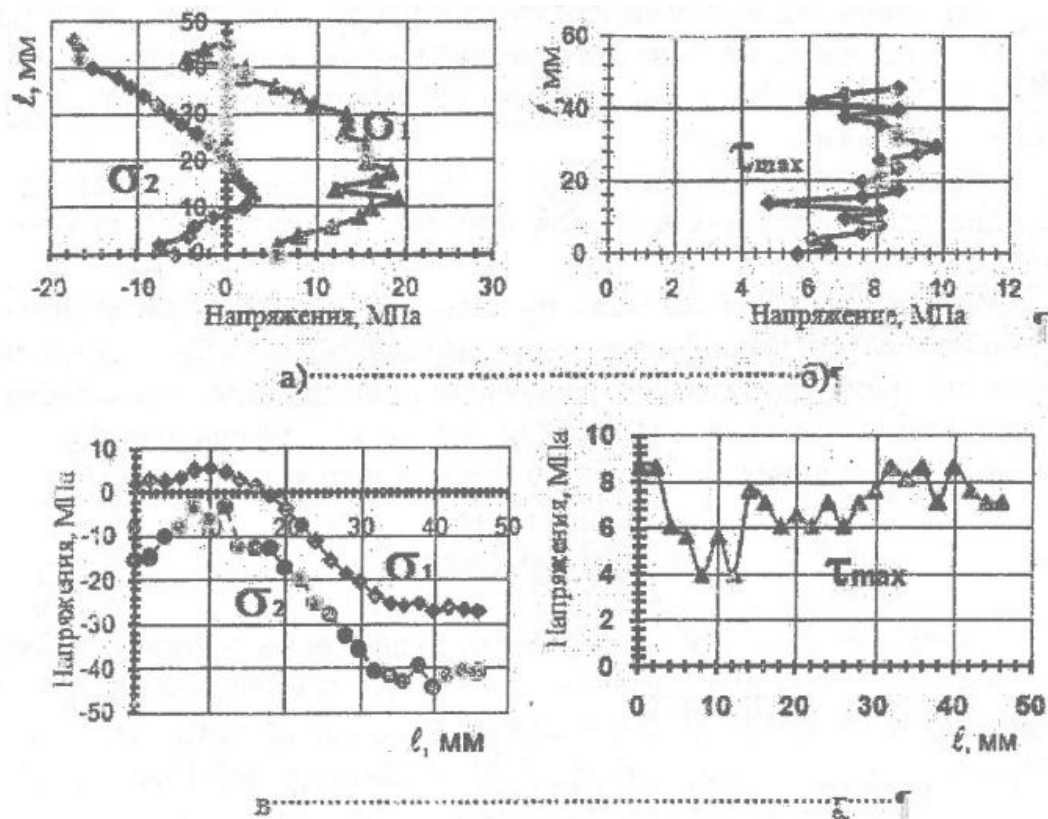


Рис. 4. Эпюры распределения главных нормальных и максимальных касательных результирующих напряжений: а, б – по вертикальному сечению; в, г – по горизонтальному сечению образца ($P_B = 2,6$ МПа, $P_T = 1,7$ МПа)

Таким образом, полученные экспериментальные результаты показали, что даже в однородной твердой оптически активной модели распределения полей остаточных напряжений имеет место неоднородный, скачкообразный характер. В результате взаимодействия остаточных напряжений и напряжений, созданных внешними вертикальными и горизонтальными силами в основных сечениях модельного образца, появились локальные зоны с повышенными концентрациями как сжимающих, так и растягивающих результирующих напряжений. Пространственное распределение результирующих напряжений в целом в образце сохраняет скачкообразный, знакопеременный характер, свойственный для чисто остаточных полей напряжений.

Данные результаты лабораторных экспериментальных исследований качественно согласуются с результатами натурных измерений напряжений в массивах скальных горных пород.

Выводы:

1. Пространственное распределение остаточных напряжений, наведенных термообработкой в модельном образце, имеют периодический и знакопеременный характер.

2. Взаимодействие полей остаточных напряжений в образце с полями напряжений, созданных от внешних вертикальных и горизонтальных сил, приводит к росту растягивающих напряжений в его вертикальном сечении и сжимающих – в горизонтальном.
3. При взаимодействии трех полей напряжений появляются зоны концентрации растягивающих и сжимающих результирующих напряжений по основным сечениям образца.
4. Установлено, что при наложении внешней вертикальной и горизонтальной механической нагрузки в модельном образце с остаточными напряжениями результирующие напряжения сохраняют скачкообразный, знакопеременный характер пространственного распределения полей напряжений, свойственных для чисто остаточных напряжений.

Список литературы

1. Айтматов И.Т. Роль остаточных напряжений в горных породах в формировании очагов горных ударов и техногенных землетрясений. /Сб. мат-ов II международн. симп. «Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов». Бишкек-М., 2002. – Бишкек: ИВТРАН, 2003. – С. 209-221.
2. Хаимова-Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – М.: Наука, 1970. – С. 115.
3. Айтматов И.Т., Казакбаева Г.О. Моделирование взаимодействия остаточных напряжений с напряжениями от внешних сил в твердых оптически-активных образцах //Геодинамика и напряженное состояние недр Земли, Труды Всероссийской конференции, посвященной 80-летию академика М.В. Курлени (с участием иностранных ученых) 03-06 октября 2011 г. Том 1. – Новосибирск, 2011.