

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ташмаматов А. С.

КГТУ им. И. Раззакова

В последнее время довольно часто рассматривается вопрос об одном, но достаточно важном виде напряжений из области механики: остаточных, внутренних, или предварительных напряжениях. Предварительными, или остаточными, обычно называют напряжения, существующие в конструкции или природном теле при отсутствии внешних силовых, тепловых и других воздействий. Называют их также собственными, внутренними и технологическими напряжениями /1/.

В технике для обозначения остаточных напряжений используют названия процессов, приводящих к их образованию: сварочные напряжения, закалочные напряжения и т.д. Такое разнообразие в названиях не вредит существу дела, а иногда даже лучше характеризует сущность рассматриваемого явления. Остаточные напряжения важны даже в струнах музыкальных инструментов, тетиве спортивного лука, спицах велосипедных колес, болтах и гайках, которыми притягиваются крышки к резервуарам с высоким давлением, в длиннопролетных мостах, закаленных стеклах транспортных средств, строительных, машиностроительных конструкциях и т.д. Они практически всегда возникают в процессах литья,ковки, прокатки, сварки, термообработки и др., а также при жестком соединении разных материалов. Остаточные напряжения есть в керамике, стекле и полимерах, в изделиях элек-

тронной промышленности, энергетического и транспортного машиностроения /2/.

Как нам известно, остаточное напряжение - это силовое поле, и в зависимости от направлений силовых линий различаются как сжимающие и растягивающие.

Изучая влияние остаточных сварочных напряжений на ресурс конструкции, исследователи отмечают, что оценка ресурса конструкции, на стадии развития установленной трещины, связано с ниже перечисленными особенностями /3,4/:

- неоднородность поля остаточных напряжений по толщине элемента конструкции приводит во многих случаях к криволинейности траектории развития трещины;
- по мере развития трещины происходит перераспределение остаточных напряжений, обусловленное изменением жесткости конструкции. Поэтому развитие трещин по «замороженному» полю может приводить к не консервативной оценке ресурса конструкции;
- взаимодействие поля остаточных сварочных напряжений с полем от эксплуатационной циклической нагрузки с постоянной асимметрией нагружения может приводить к существенному изменению асимметрии нагружения в вершине трещины по мере ее развития.

Остаточные напряжения, возникающие в изделиях практически во всех технологических процессах, существенно влияют на механическую работу конструкций. Во многих случаях остаточные напряжения играют отрицательную роль. При воздействии силовых и температурных нагрузок, суммируясь с напряжениями от внешней нагрузки, остаточные напряжения могут привести к разрушению, потере устойчивости, искривлениям и т.д. Однако известно немало случаев, когда остаточные напряжения играют положительную роль, что позволяет без повышения металлоемкости изделий повысить их эксплуатационные характеристики. Умелое применение внутреннего напряженного со-

стояния в материалах и конструкциях может дать большие выгоды их создателям.

К сожалению, отрицательную роль остаточные напряжения играют чаще, чем хотелось бы. В технике достаточно примеров разрушений, вызванных большими технологическими напряжениями. Одни из наиболее частых со значительными экологическими последствиями — это разрушения газовых трубопроводов, в которых образуются трещины длиной иногда до нескольких десятков метров. Внезапные разрушения строительных конструкций, появление и развитие трещин на лобовых стеклах автомобилей, дорогостоящих заготовках крупногабаритных зеркал телескопов, хрустальной посуде, саморазрушение огнеупорных блоков для стенок стекловаренных печей, лежащих в спокойном состоянии на складе - процессы весьма не желательные. В кристаллах, например, источниками внутренних напряжений являются такие дефекты кристаллического строения как: точечные, линейные, плоские и объемные. Остаточные напряжения, главным образом, обусловлены неоднородными упруго - пластическими деформациями твердого материала (искажениями кристаллической решетки). В свою очередь, искажения решетки вызываются дефектами в кристаллах и неоднородностью их распределения. Искращения первого и второго рода, которые соответствуют одноименным напряжениям, могут быть связаны с дислокациями, границами зерен, межфазными границами, микротрещинами и т.п. Искращения третьего рода обусловлены, как правило, точечными дефектами, вакансиями, растворенными атомами неоднородности твердого тела, неоднородности пластической деформации, термомеханического воздействия. При выбуривании керна горной породы из глубоких скважин куски керна после их извлечения получают значительную разгрузку от внутренних напряжений, расслаиваются и могут даже "взрываться" (керна сверхглубоких скважин).

В сущности, указанные разрушения и породили научное направление по изучению остаточных технологических напряжений и способов их регулирования. Эти напряжения могут быть одной из главных причин техногенных аварий и разрушений, надежных на первый взгляд конструкций в технике и в быту, тем не менее, ни один стандарт не устанавливает предельно допустимых значений для таких напряжений. Не существует и нормативных документов по учету остаточных напряжений при проектных прочностных расчетах конструкций. В связи с этим разработка методов измерения остаточных напряжений и находить способы управления технологическими процессами и вызываемыми ими напряжениями для улучшения качества изделий и надежности их работы в настоящее время является актуальной задачей. В последние годы в таких странах как Россия, Украина и США ученые особое внимание уделяют на экспериментальное изучение таких напряженных состояний. Но на сегодняшний день результаты исследований не может дать полную характеристику влияния остаточных напряжений на прочность конструкций и изделий /2/.

При создании определенной конструкции разработчики рассчитывают соответствующие прочности детали. Но при расследовании причин некоторых аварий обнаруживаются огромные остаточные напряжения, превышающие предел прочности детали, которые не учитывались. Основным условием существования остаточных напряжений является их относительное равновесие, при нарушении которой остаточные напряжения проявляются в виде деформации или разрушения материала. Как известно, одним из методов снятия остаточных напряжений является вибрационное действие на твердый материал /5-6/.

Для исследований нами остаточные напряжения в горных породах были созданы путем теплового воздействия. Остаточные напряжения в горных породах возникают вследствие неравномерного охлаждения

ния поверхности, изменения объема. Неодинаковое распределение температур по объему горной породы при быстром охлаждении сопровождается и неравномерным изменением объема. Поверхностные слои сжимаются быстрее, чем внутренние. Однако сжатию поверхностных слоев препятствуют внутренние слои. Это приводит к тому, что в поверхностных слоях образуются временные (т.е. исчезающие после снятия нагрузки) сжимающие, а во внутренних слоях растягивающие напряжения. Если величина остаточных напряжений превышает сопротивление отрыву и горная порода мало пластична, то это вызывает образование трещин. Наиболее опасны при этом растягивающие напряжения на поверхности, которые способствуют образованию трещин и снижают предел прочности горных пород.

Все образцы горных пород были изготовлены и термически обработаны по единой методике. Термической обработке подвергались образцы цилиндрической формы (диаметр 42 мм, высота 84 мм.), изготовленные из гранита месторождения Кыртабылгы (температура нагревания образца 700-850К с последующим резким охлаждением). Для оценки влияния остаточного напряжения на деформацию и разрушение горных пород экспериментальные исследования проводились в стандартных условиях одноосного статического сжатия образцов цилиндрической формы. Опыт по испытанию образцов при одноосном статическом сжатии проводится так, что в процессе нагружения фиксируются зависимости от действующего напряжения деформации в продольном и поперечном направлении. В качестве примера, полученные графики зависимостей компонент деформации от сжимающего напряжения для гранита месторождения Кыртабылгы (исходный, термообработанный) представлены на рисунках 1 - 4.

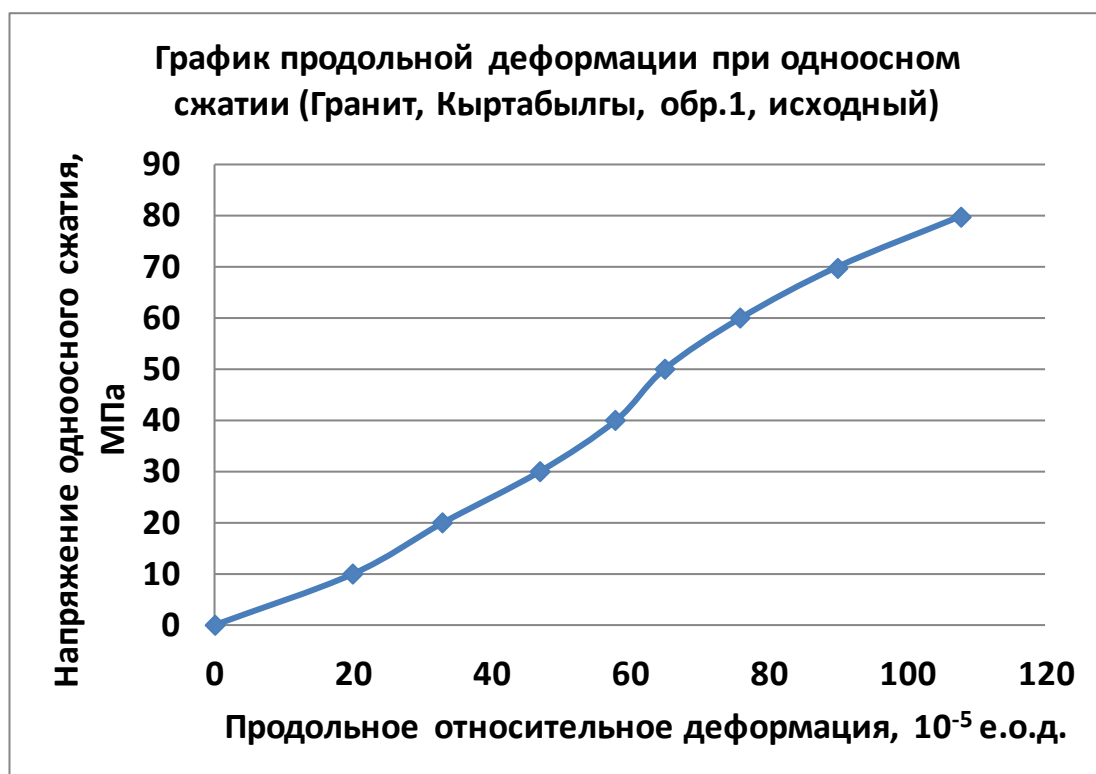


Рис.1

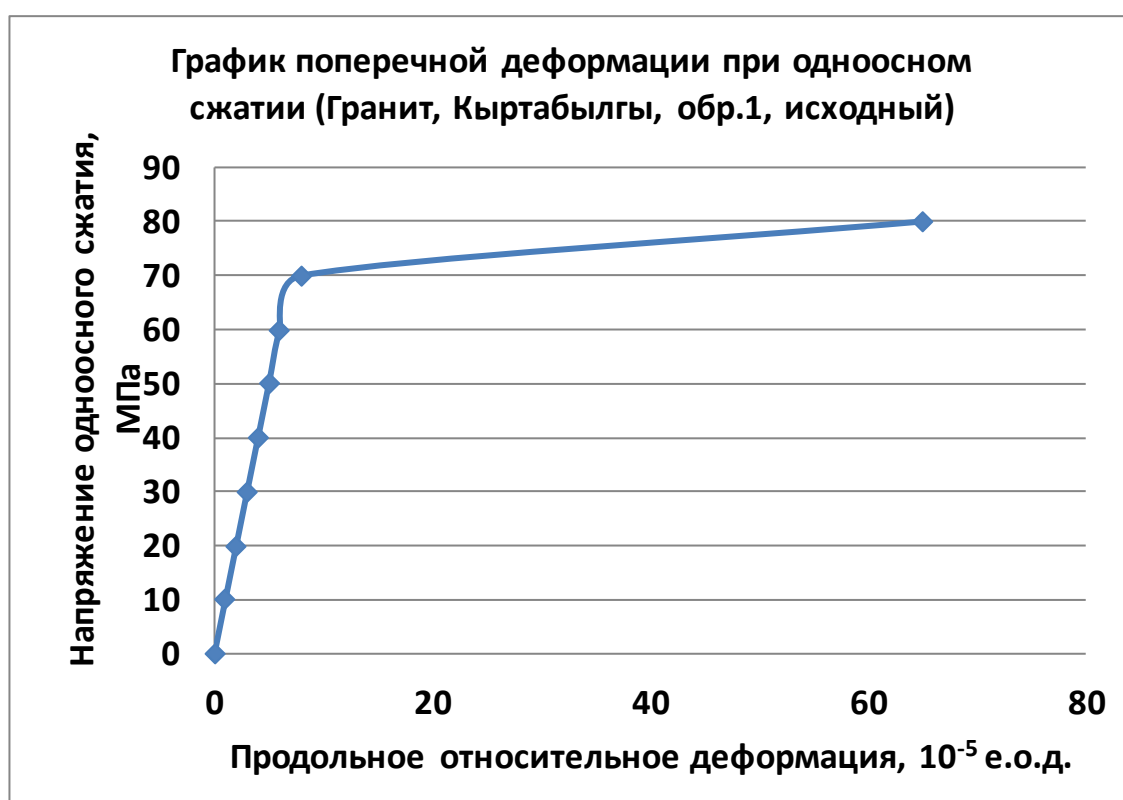


Рис.2



Рис.3

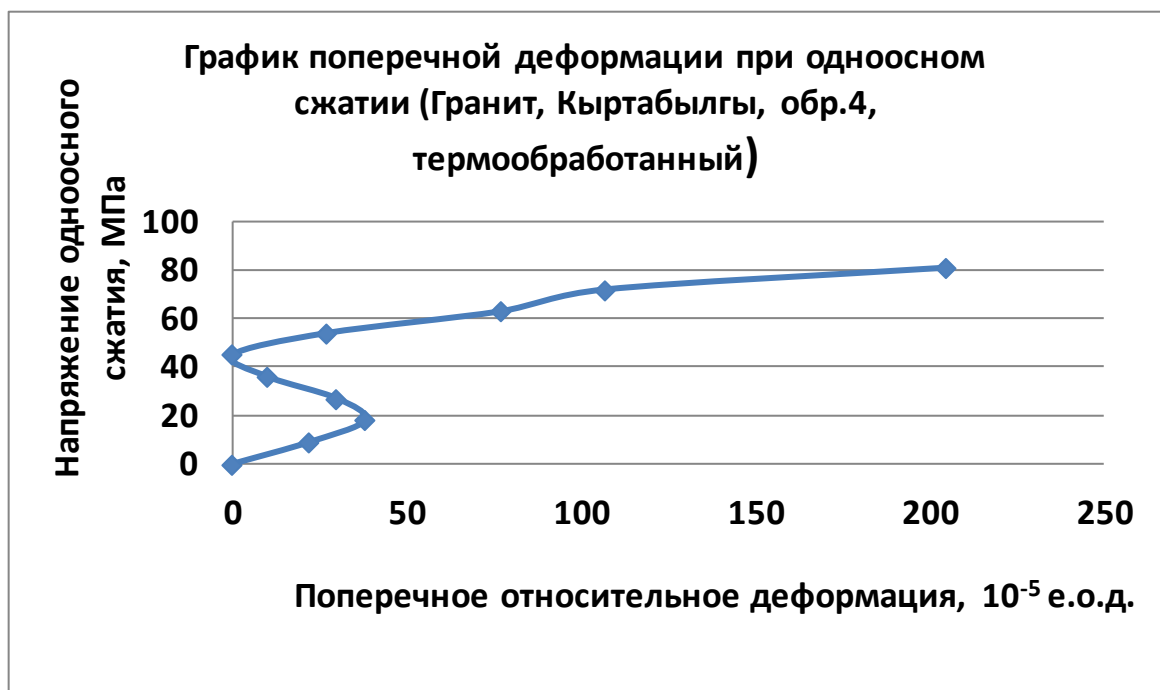


Рис.4

Исходя из данных рисунков 1 и 2, по деформационным параметрам можно отметить, что исходный образец гранита месторождения

Кыртабылгы представляет квазиоднородную породу с обычными линейными зависимостями продольной и поперечной деформации.

Поперечная деформация термообработанного образца гранита месторождения Кыртабылгы имеет аномальный характер (рис.4), т.е. происходит скачкообразное и знакопеременное ее изменение в условиях одноосного сжатия: сначала поперечное расширение, затем поперечное сжатие до исходного нулевого состояния. При одинаковых уровнях приложенного напряжения продольная деформация термообработанного образца почти в 3 раза больше чем продольная деформация исходного образца. Эти результаты свидетельствуют о значительном вкладе остаточных напряжений в деформацию. Данные результаты согласуются с результатами измерения остаточных напряжений в термообработанных образцах гранита Кыртабылгы методом импульсного нагружения, а также с результатами, полученными К.Т. Тажибаевым [7] при испытаниях образцов, имеющих остаточные напряжения.

Выводы:

1. При одинаковых уровнях приложенного напряжения продольная деформация термообработанных образцов в 3 раза больше чем продольная деформация исходного образца, при этом прочность термообработанных образцов уменьшается только на 30-40%, и сравнивая величину продольной деформации исходных и термообработанных образцов можно отметить, что - чем больше разность, тем выше уровень остаточного напряжения.
2. Остаточные напряжения, высвободившиеся вследствие нарушения равновесия внешней нагрузкой, являются главной причиной аномальных поперечных и необычно интенсивных продольных деформаций горной породы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М. : Машгиз, 1963. -232с.
2. Г.Н. Чернышев, А.Л. Попов, В.М. Козинцев. Полезные и опасные остаточные напряжения « Природа» №10, 2002 г. с.17–24.
3. Карзов Г.П., Кархин В.А., Леснов В.П., Марголин Б. Расчетное определение траектории трещин и интенсивности высвобождения упругой энергии при циклическом нагружении с учетом сварочных напряжений/ Проблемы прочности. 1983 №9 – С. 104-108.
4. Карзов Г.П., Кархин В.А., Леснов В.П., Марголин Б. 3. Развитие усталостных трещин в тавровых соединениях с учетом сварочных напряжений/ Проблемы прочности. 1983, №11, -С. 70-73.
5. «Эффективность» низкочастотной вибрационной обработки изделия по технологии ПД5Р. ГКЛИО 104-216-95 //Публикация в Интернет-СМИ
6. Колот В. А. Применение ресурсосберегающих вибрационных и отделочно-упрочняющих методов обработки нежестких деталей в тяжелом машиностроении // Технология, экономика, организация производства и управления. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаша, 1991. –сер.8, вып. 24. – 56 с.
7. Тажибаев К.Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов. – Фрунзе: Илим, 1989. – 179 с.