

ГОРНОЕ ДЕЛО

УДК 539.3

АНАЛИЗ ПОЛНЫХ ДИАГРАММ «НАПРЯЖЕНИЕ - ДЕФОРМАЦИЯ» ПРИ ТРЕХОСНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

*Абрамов Я.В., Степанова Ю.Ю., Торопцева Н.В. – студенты КРСУ;
Рычков Б.А. - д.ф.-м.н., проф. КРСУ. e-mail: rychkovba@mail.ru*

Для ряда горных пород на основе известных экспериментальных данных вычислен коэффициент разрыхления, иллюстрирующий степень разрыхления материала до и за пределом прочности. Используются значения продольной и поперечной деформации цилиндрических образцов, испытанных на неравномерное трехосное сжатие по схеме Кармана. Полные деформации за пределом упругости разделяются на упругую и неупругую составляющие. Последняя, в свою очередь, представлена суммой от чисто пластической деформации (не вызывающей остаточного изменения объема тела) и деформации разрыхления. Установлено, что механизм разрыхления на допредельной и запредельной ветвях полной диаграммы отличается, а именно: за пределом прочности преобладает механизм скольжения. При этом при больших боковых давлениях разрыхление исчезает и возникает почти плоско пластическая деформация.

Ключевые слова: пластичность, разрыхление горных пород, трёхосное сжатие цилиндрических образцов.

ANALYSIS OF THE COMPLETE DIAGRAMS «STRESS-STRAIN» UNDER TRIAXIAL STRESS STATE OF ROCKS

*Abramov Ia.V., Stepanova Ju.Iu., Toropzceva N.V. – students KRSU;
Rychkov B.A. – Prof., e-mail: rychkovba@mail.ru*

For a number of rocks on the basis of known experimental data calculated the coefficient of loosening showing the degree of loosening up and behind tensile strength of material. Using the values of the longitudinal and transverse deformation of the cylindrical samples, tested by triaxial on uneven compressions on scheme Karman. Full deformation beyond the elastic limit are divided into elastic and inelastic components. The latter, in turn, is represented by the sum of a purely plastic deformation (causing no change of the residual volume of the body) and deformation of loosening. It is found that the mechanism of loosening: to limit of strength and behind limit of strength for full diagram is different, namely: the mechanism of slipping for tensile strength prevails. At the same time disappears loosening and arise almost flat plastic deformation at high lateral pressures.

Keywords: plasticity, loosening rocks, triaxial compression cylindrical samples.

Введение. Горные породы в массиве часто находятся в полуразрушенном состоянии. Такое состояние в случае одноосного сжатия цилиндрического образца достигается при испытании его на жестком прессе. Полученная [1] таким образом полная диаграмма «напряжение-деформация» (для примера) представлена на рис. 1 для нво (не выбросоопасного) песчаника. Проанализируем подобные диаграммы.

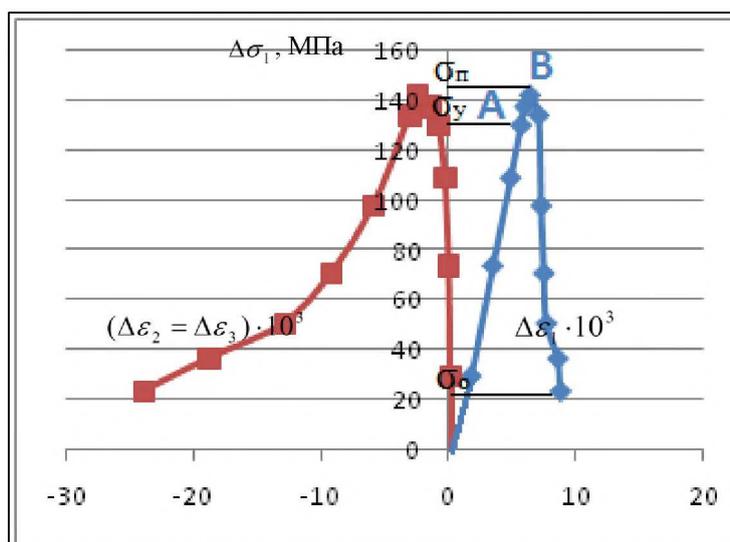


Рис.1. Полная диаграмма «напряжение-деформация».

На восходящей ветви этих диаграмм для продольной деформации ($\varepsilon_1 > 0$) различают: почти линейный начальный участок [OA] вплоть до условно определяемого предела упругости (σ_y), после достижения которого криволинейный участок [AB] характеризует область нарастающих упругих и возникающих необратимых деформаций. Поперечная деформация ($\varepsilon_2 < 0$) при напряжении сжатия ($\sigma_1 > 0$) в области $\sigma_1 \in [0, \sigma_y]$ изменяется по линейному закону лишь с некоторым приближением. Это обстоятельство, а также исходная анизотропия пород затрудняет применение линейной теории упругости. Участок AB соответствует достижению предела прочности (σ_n).

Нисходящая ветвь рассматриваемых диаграмм для деформации ε_1 в области $\sigma_1 \in [\sigma_n, \sigma_0]$ схематизируется линейной зависимостью. Напряжение σ_0 - это предел остаточной прочности, при этом образец разрушается разделением на части. Тангенс угла наклона полученного таким образом линейного участка диаграммы называют модулем спада (μ). Этот параметр используют для определения удароопасности породы. В случае одноосного сжатия поперечная деформация по модулю значительно превосходит деформацию ε_1 на ниспадающей ветви данной диаграммы. Это объясняется охрупчиванием породы, ведущем к разрыхлению материала.

Явление охрупчивания материала изучается в лабораторных условиях при трехосном сжатии цилиндрических образцов. Для получения полной диаграммы «напряжение - деформация» в начале создается гидростатическое давление определенной величины, затем всестороннее боковое давление выдерживается постоянным ($\sigma_2 = \sigma_3 = \text{const}$), а осевое давление увеличивается ($\sigma'_1 > 0$). Хрупкость пород оценивается по соотношению между модулем спада μ и модулем Юнга (E). При этом в расчете фигурирует полная деформация до и за пределом прочности, без разделения ее на упругую и необратимую деформации. Считается /1/, что механизм остаточной деформации на восходящей и нисходящей ветвях полных диаграмм одинаков, поскольку на этих участках отношение поперечной остаточной деформации (ε_2^p) к продольной остаточной деформации (ε_1^p) одно и то же, то есть определяемый таким образом коэффициент остаточной деформации принимается постоянным. Нарушение этого условия (например, для мрамора при $\sigma_2 = 150$ МПа) объясняется тем, что измерение поперечной деформации в опытах проводилось в одном направлении одним поперечным экстензометром.

Более наглядно, на наш взгляд, картину разрыхления можно получить, если неупругую деформацию ($\Gamma_i, i=1, 2, 3$) представить суммой чисто пластической деформации

Γ_i^{nl} (не вызывающей остаточного изменения объема тела) и деформации разрыхления Γ_i^* . Компоненты Γ_i выражаются разностью между полной (регистрируемой в опыте) деформацией (ε_i) и соответствующей упругой деформацией (ε_i). После гидростатического давления для реализованного в опыте напряженного состояния ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$) имеем $\Gamma_2^{nl} = \Gamma_3^{nl} = -\frac{1}{2}\Gamma_1^{nl}$. Ранее показано [2], что при этом

$$\Gamma_1^* = \Gamma_2^* = \Gamma_3^* = -\lambda \Gamma_1^{nl} \quad (1)$$

Это соотношение между Γ_i^* соответствует гипотезе академика В.В. Новожилова о всестороннем разрыхлении [3], подтвержденной экспериментально [4]. Коэффициент разрыхления λ подлежит определению.

Вычисление компонент ε_i наталкивается на затруднения, связанные, как указывалось выше, с начальной анизотропией горных пород и с разбросом деформационных свойств от образца к образцу. Поэтому компоненты упругой деформации с достаточным приближением можно определять графически при каждом боковом давлении ($\sigma_2 = \sigma_3$), то есть как функции $\varepsilon_i(\sigma_1)$; пример показан на рис. 2.

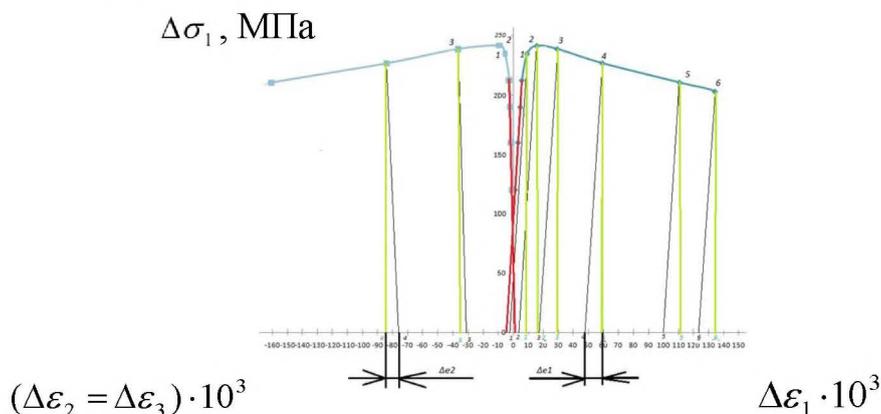


Рис.2. Определение упругой и остаточной деформаций для НВО песчаника.

Полные диаграммы «напряжение-деформация», полученные в опыте [1] при разных уровнях бокового давления (после осуществленного гидростатического давления) показаны на рисунках 3-5 соответственно для НВО песчаника, гранита и мрамора. Величина осевого главного напряжения $\Delta\sigma_1$ является превышением над гидростатическим давлением σ_2 .

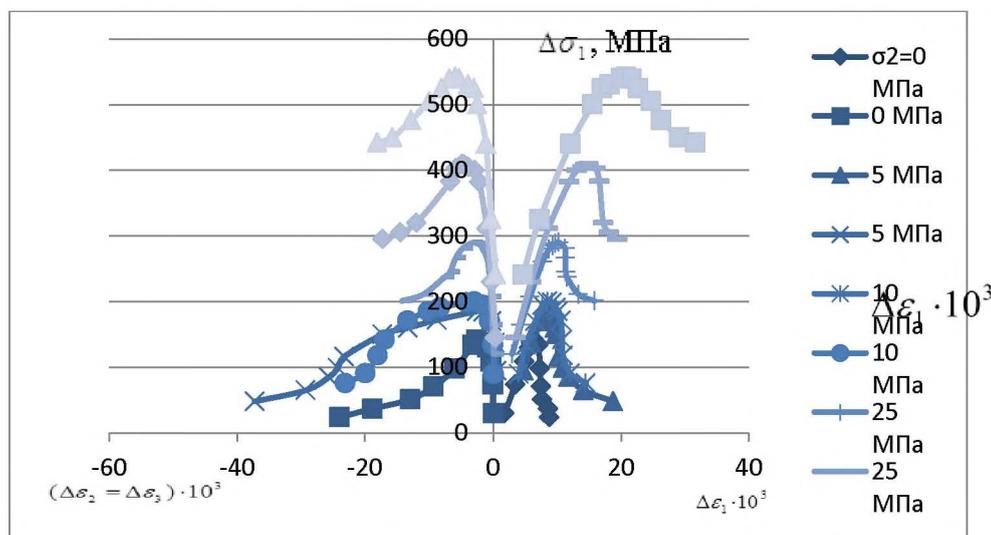


Рис.3. Полные диаграммы «напряжение - деформация» для НВО песчаника.

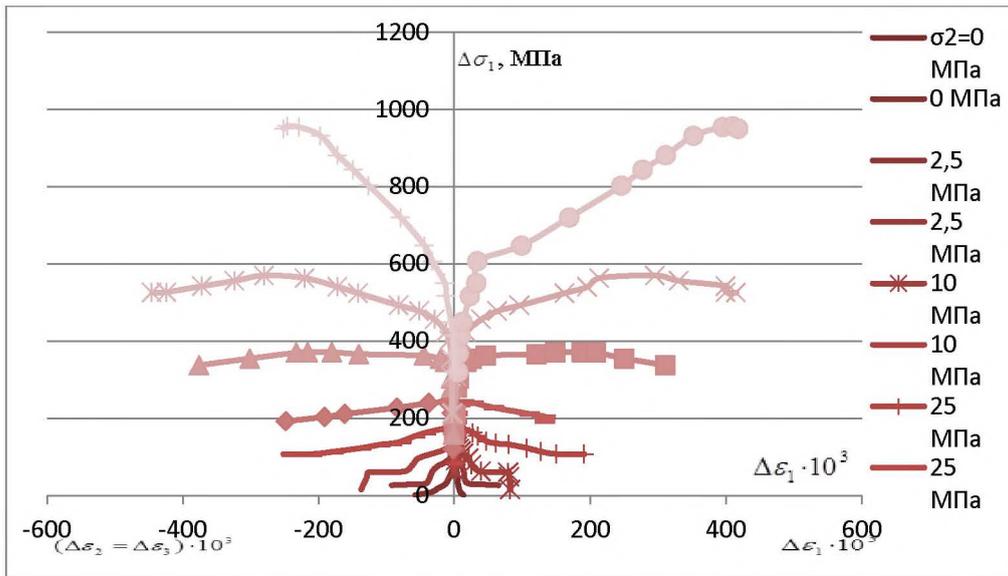


Рис.4. Полные диаграммы «напряжение - деформация» для мрамора.

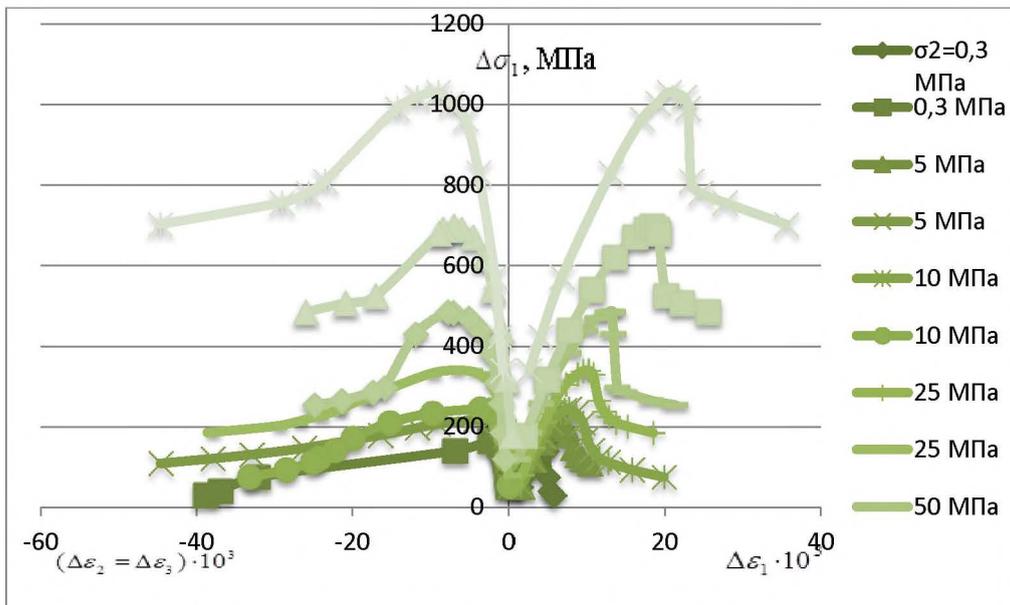


Рис.5. Полные диаграммы «напряжение - деформация» для гранита.

Суммируя чисто пластическую деформацию и деформацию разрыхления, учитывая (1), имеем

$$\Gamma_1 = \Gamma_1^{pl} + \Gamma_1^* = (1 - \lambda)\Gamma_1^{pl}; \quad (2)$$

$$\Gamma_2 = \Gamma_3 = -\frac{1}{2}\Gamma_1^{pl} + \Gamma_2^* = -\left(\frac{1}{2} + \lambda\right)\Gamma_1^{pl}.$$

Из отношения Γ_1/Γ_2 выразим коэффициент разрыхления :

$$\lambda = \frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{\Gamma_2 + 0,5\Gamma_1} \quad (3)$$

Коэффициент λ вычисляется отдельно для восходящей и нисходящей ветвей полных диаграмм и представлен на рис. 6 - 8 как функция параметра вида напряженного состояния $c = \sigma_2 / \sigma_1$.

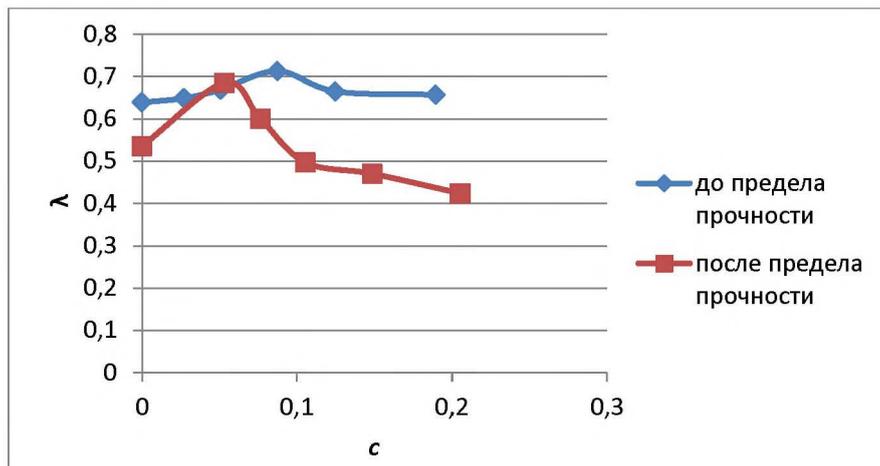


Рис.6. График зависимости коэффициента λ от c для нво песчаника.

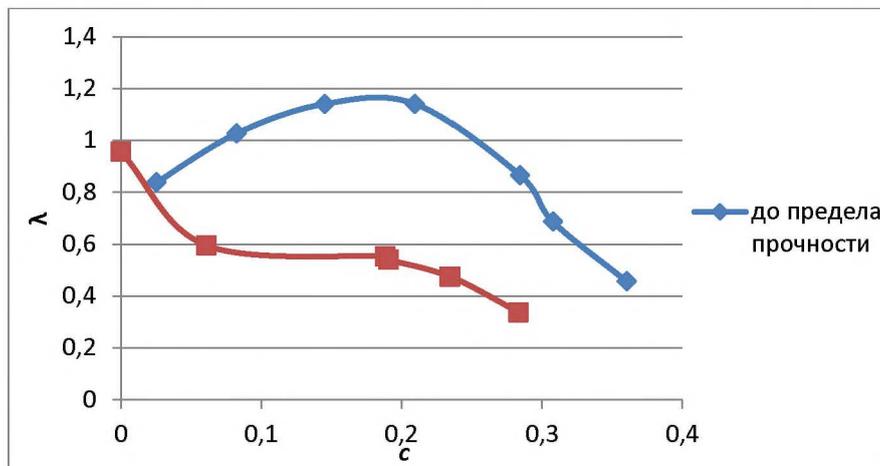


Рис.7. График зависимости коэффициента λ от c для мрамора.

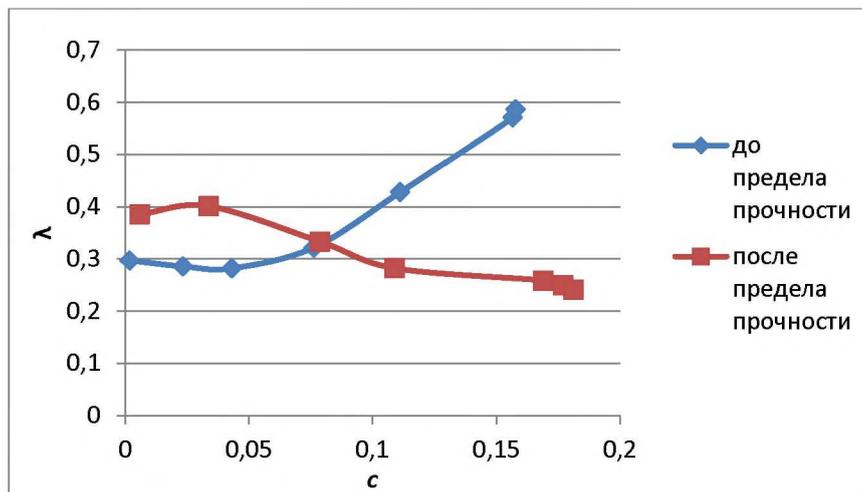


Рис.8. График зависимости коэффициента λ от c для гранита.

Как видно из графиков, представленных на рис. 6 - 8, для всех рассмотренных горных пород с ростом параметра c коэффициент разрыхления λ при наибольшем значении c заметно больше по величине на пределе прочности, чем на пределе остаточной прочности. Причем при снижении напряжения от предела прочности до предела остаточной прочности наблюдается явная тенденция стремления коэффициента λ к нулю. Последнее объясняется тем, что при больших боковых давлениях поперечная деформация по модулю становится

сопоставимой с величиной продольной деформации, иначе говоря, при этом возникает почти плоско-пластическая деформация.

Заключение: Таким образом, механизм разрыхления на допределельной [2, 5] и запределельной [1, 6, 7] ветвях полной диаграммы всё-таки отличается, а именно: за пределом прочности преобладает механизм скольжения. Это, в свою очередь, приводит к разделению образца на части при достижении предела остаточной прочности.

Список литературы

1. Ставрогин А.Н. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах/ А.Н Ставрогин, А.Г. Протосеня. - М.: Недра, 1985. – 271 с.
2. Рычков Б.А. О деформационном упрочнении горных пород / Б.А. Рычков // Изв. РАН. МТТ, 1999. – №2. – С. 115-124.
3. Новожилов В.В. О пластическом разрыхлении/ В.В. Новожилов // ПММ. – 1965. – Т. 29. – Вып. 4. – С. 681– 689.
4. Рыбакина О.Г. Экспериментальное исследование закономерностей пластического разрыхления металлов/ О.Г. Рыбакина, Я.С. Сидорин // Инженерный журнал. МТТ. – 1966. – № 5. – С. 103–111.
5. Рычков Б.А. О пределах упругости и прочности горных пород/ Б.А. Рычков, Н.М. Комарцов, Т.А. Лужанская // Вестник ПНИПУ. – 2013. - №2. - С. 110-123.
6. Ставрогин А.Н. Пластичность горных пород/ А.Н.Ставрогин, А.Г. Протосеня – М.: Недра, 1979.
7. Тарасов Б.Г. Закономерности деформирования и разрушения горных пород при высоких давлениях. Автореферат. дис. На соиск. ... д-ра техн. наук. – СПб., 1991.

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА МАРАНГОНИ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ

Султангазиева Р.Т., Медралиева Б. Н. к.ф.-м.н., доцент, и.о. доц. КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан. 720044 г. Бишкек пр. Мира 66, e-mail: renasultangazieva@mail.ru, medralieva@mail.ru

В работе представлены результаты численного моделирования влияния эффекта Марангони на параметры различных металлов при электродуговой сварке. Рассчитан коэффициент поверхностного натяжения стали. В качестве обрабатываемого изделия использованы стальная и алюминиевая пластины. Изучено влияние силы тока на гидродинамические процессы сварочной ванны. Дан сравнительный анализ воздействия силы Марангони на потоки расплавленного металла стали и алюминия.

Ключевые слова: электродуговая плазма, МГД уравнения, сварочная ванна, термокапиллярная конвекция, эффект Марангони, вихрь-функция тока

INFLUENCE OF MARANGONI EFFECT TO THE HYDRODYNAMIC PROCESSES IN THE WELD POOL DURING ARC WELDING

Sultangazieva R.T., Medralieva B.N. . PhD, Associate Professor, docent, K S T U named after I.Razzakov, Kyrgyzstan. 720044 c. Bishkek, p.Mira 66, e-mail: renasultangazieva@mail.ru, medralieva@mail.ru