Она, скорее, указывает на возможность получения достаточно точных результатов, однако сам результат требует серьезной проверки, качественная же сторона процесса не противоречит известным закономерностям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хитрин А.В. Физика горения и взрыва. - М.: МГУ, 1957.
2. Канторович Б.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива. - М.: АН СССР, 1958.
3. Основы практической теории горения / Под ред. В.В. Померанцева. - Л.: Энергия, 1973.
4. Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Вильямс Ф.А. Теория горения. - М.: Наука, 1973.
6. Оренбах М.С. Реакционная поверхность при гетерогенном горении. - Новосибирск, Наука, 1973.
7. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник / Под ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. - М.: Энергоатомиздат, 1988.

УДК 531.43:517.956.225

В.А. Страшко, В.В. Шумриков,
Д.Л. Васильев

О СВЯЗИ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

Встановлено зв'язок між внутрішнім тертям і коефіцієнтом Пуассона суцільного середовища і показано, що обидва ці параметри відбивають метричні властивості поля механічних напруг.

Необходимость рассмотрения такого рода связи продиктована весьма существенным влиянием внутреннего трения и коэффициента Пуассона сплошной среды на эффективность ее деформирования и разрушения, особенно при добыче полезных ископаемых механическими средствами.

Внутреннее трение по своей природе является физическим процессом, определяющим сопротивляемость среды деформированию и разрушению на всех структурных уровнях ее строения. Процесс трения, как правило, сопровождается изменением топографии поверхностей отдельных частей и структурных элементов среды, их характерных геометрических параметров, диссипацией энергии, изменением структуры и физико-механических свойств среды. Одним из основных параметров, раскрывающих суть протекания процессов трения, является угол внутреннего трения, с помощью которого устанавливаются фундаментальные соотношения между прочностными характеристиками, метрическими свойствами среды и внешними нагрузками.

Коэффициент Пуассона, так же, как и угол внутреннего трения, является параметром, определяющим наиболее общие формы проявления законов самоорганизации напряженно-деформированного состояния среды, сопротивляемости ее деформированию и разрушению в зависимости от природных свойств самой среды и вида внешней нагрузки.

Анализ работ, посвященных исследованиям внутреннего трения и коэффициента Пуассона различных материалов, показывает, что оба эти параметра по существу представляют собой две математические модели одного и того же физического явления, определяющего процесс деформирования и разрушения среды при действии внешней нагрузки. В этой связи возникает естественный и закономерный вопрос, как связаны эти параметры между собой. Знание такого рода связи позволит более глубоко раскрыть физическую зависимость сопротивляемости среды деформированию и разрушению от внешней нагрузки и на ее основе разработать надежные методы расчета этого процесса. К сожалению, до сих пор мы не располагаем достаточно обоснованной связью между указанными выше параметрами. Для ее установления воспользуемся уравнениями, приведенными в работе [1]:

$$\begin{cases} E^2\left[\varepsilon_{xx}^2+\nu^2\left(\varepsilon_{yy}^2+\varepsilon_{zz}^2\right)\right]=\pm\sigma_x^2 \\ E^2\left[\varepsilon_{yy}^2+\nu^2\left(\varepsilon_{zz}^2+\varepsilon_{xx}^2\right)\right]=\pm\sigma_y^2 \\ E^2\left[\varepsilon_{zz}^2+\nu^2\left(\varepsilon_{yy}^2+\varepsilon_{xx}^2\right)\right]=\pm\sigma_z^2, \end{cases} \tag{1}$$

где $\varepsilon_{ii}, \sigma_i$ – деформации и напряжения от действия соответственно внешних и внутренних сил; $i = x,y,z$ – индексы; E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона; знак “+” означает, что внутренние силы и перемещения имеют одно и тоже направление, а знак “-” – противоположное.

Уравнения (1) представляют условия энергетического равновесия среды при ее деформировании. В основу их положены закон сохранения энергии и физическая предпосылка, заключающаяся в том, что характер распределения энергии в сплошной среде такой же, как и деформаций. Принимая знак “+” и складывая почленно левые и правые части (1), получим:

$$E^2(1+2\nu^2)(\varepsilon_{xx}^2+\varepsilon_{yy}^2+\varepsilon_{zz}^2)=\sigma_x^2+\sigma_y^2+\sigma_z^2. \tag{2}$$

Введем обозначения:

$$\varepsilon_{xx}^2+\varepsilon_{yy}^2+\varepsilon_{zz}^2=\varepsilon_0'^2,$$
$$\sigma_x^2+\sigma_y^2+\sigma_z^2=\sigma_0^2.$$

Подставляя их в (2) и извлекая из левой и правой частей этого выражения квадратные корни, получим:

$$\sigma_0=\pm\sqrt{1+2\nu^2}\,E\varepsilon_0' \tag{3}$$

или учитывая, что $E\varepsilon_0'=\sigma_0'$, будем иметь

$$\sigma_0=k_0\sigma_0', \tag{4}$$

где

$$k_0 = \pm\sqrt{1 + 2\nu^2}\ . \qquad (5)$$

Как видим, уравнение (4) в системе координат σ'_0, σ_0 представляет прямую с угловым коэффициентом (5). Эта прямая проходит через начало координат ($\sigma'_0 = 0, \sigma_0 = 0$) и образует с осью абсцисс σ'_0 угол α_0, величина которого определяется по формуле

$$\alpha_0 = arctg\, k_0 = \pm arctg(\sqrt{1 + 2\nu^2}) \qquad (6)$$

Поскольку напряжения σ'_0, σ_0, входящие в уравнение (4), являются силовыми характеристиками, обуславливающими процесс взаимодействия между отдельными частями и структурными элементами, то очевидно, что с физической точки зрения выражение коэффициента (5) характеризует метрические свойства поверхности трения и приобретает смысл коэффициента внутреннего трения, а (6) – угла внутреннего трения.

Из выражения (6) следует, что при увеличении коэффициента Пуассона угол внутреннего трения α_0 увеличивается. Пределы изменения α_0 определяются диапазоном численных значений коэффициента . При $=0$ угол внутреннего трения α_0 имеет минимальное значение, равное 45°; при $=1$ – максимальное значение, равное 60°.

По данным, приведенным в монографии Л.И.Барона [2], углы внутреннего трения разных горных пород имеют следующие значения: песчаники 50°…70°, известняк твердый 44°…50°, сланец каменноугольный твердый 45°, сланец каменноугольный средней твердости 37°.

Анализ выражения (3) показывает, что геометрическим местом точек напряжений, а следовательно, и внутреннего трения (6) является сфера с радиусом $k_0 \cdot E \cdot \varepsilon'_0$. По своей сути выражение (3) устанавливает оптимальное соотношение между прочностными характеристиками среды, внешними нагрузками и метрическими свойствами поля механических напряжений, физически определяемых электрическими полями на уровне атомного взаимодействия.

Для более глубокого понимания физической сущности внутреннего трения разрешим уравнение (1) относительно деформаций $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}$. Получим

$$\varepsilon_{ii}^2 = \pm\frac{1}{E^2(1-\nu^2)}\left(\sigma_i^2 - \frac{3\nu^2}{1+2\nu^2}\sigma_{cp}^2\right), \qquad (7)$$

где $i = x, y, z$ – индексы;

$$\sigma_{cp}^2 = \frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}{3}. \qquad (8)$$

Уравнения (7) представляют три пары одно- и двуполостного гиперболоидов. Общей асимптотической поверхностью для каждой пары гиперболоидов является конус. Уравнения конуса по направлению осей $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ имеют вид:

$$\sigma_i^2 = \frac{\nu^2}{1+\nu^2}\left(\sigma_j^2 + \sigma_k^2\right), \tag{9}$$

где *i, j, k = x, y, z; i≠j≠k*.

Уравнения (9) являются предельными направляющими поверхностями нормальных внутренних напряжений; определяют объемный характер распределения нормальных напряжений в направлении осей $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ и минимальные затраты внутренней энергии на самоорганизацию этого процесса; дают диапазон разрешенных значений коэффициента Пуассона $-1{,}0 \le \nu \le 1{,}0$.

Сечение конуса, заданного любым из трех уравнений (9), соответствующей ему плоскостью $\sigma_i\sigma_j$ $(\sigma_k = 0)$, есть пара прямых

$$\sigma_i = \mu\sigma_j \tag{10}$$

с угловым коэффициентом

$$\mu = \pm\frac{\nu}{\sqrt{1+\nu^2}}, \tag{11}$$

где *i, j, k = x, y, z* – индексы; *i≠j≠k*.

В силу того, что напряжения σ_i, σ_j являются внутренними силовыми характеристиками, обеспечивающими внутреннюю самоорганизацию структурной перестройки среды из менее в более устойчивое состояние при ее деформировании, коэффициент пропорциональности μ (11) приобретает смысл коэффициента "чистого" внутреннего трения. Он определяет направления протекания всех процессов внутреннего трения среды при ее деформировании и разрушении, симметричность взаимодействия между отдельными частями и структурными элементами. В отличие от (5) этот коэффициент не имеет какой-либо функциональной связи с внешними силами, поскольку уравнения (9) и (7) не имеют общего решения. Прямые (10) проходят через начало координат и образуют с осью абсцисс угол ρ, определяемый по формуле

$$\rho = arctg\mu = \pm arctg\left(\frac{\nu}{\sqrt{1+\nu^2}}\right). \tag{12}$$

При ν=1 угол внутреннего трения имеет максимальное значение, равное 35°; при ν=0 прямая (10) вырождается в ось абсцисс, что свидетельствует об отсутствии какой-либо внутренней связи между составляющими напряжений.

По данным, приведенным в монографии [2], коэффициенты внутреннего трения горных пород, установленные путем лабораторных испытаний, находятся в диапазоне 0,16…0,75, что соответствует значениям угла внутреннего трения от 9° до 37°. В частности, для песчаников, угол внутреннего трения составляет 35°…37°, известняков и алевролитов – 31°…33°, агрелитов – 26°…27°.

Сопоставляя (12) и (6), мы видим, что эти выражения по своей структуре и диапазону численных значений углов внутреннего трения существенно отличаются между собой. Очевидно, природа внутреннего трения такова, что его силовые и метрические свойства формируют из отдельных частей и структурных элементов наиболее устойчивую форму поверхности противодействия среды ее деформированию, причем, таким образом, чтобы затраты внутренней энергии на этот процесс были минимальными.

Исследования системы (1) показывают, что кроме приведенных выше напряжений и деформаций, она содержит еще и три пары нормальных и касательных напряжений и деформаций, геометрическим местом точек которых являются соответственно три пары взаимно перпендикулярных площадок, которые можно провести внутри куба, вписанного в сферу (3), через противоположные его грани. Уравнения прямых, связывающие эти напряжения и деформации, имеют вид:

$$\sigma_k = k_2 \cdot \sigma'_k, \tag{13}$$

$$\tau_k = k_3 \cdot \tau'_k, \tag{14}$$

где

$$\frac{\sigma_i + \sigma_j}{2} = \sigma_k, \qquad E(\varepsilon_{ii} + \varepsilon_{jj}) = \sigma'_k, \qquad k_2 = \frac{1+\nu}{2};$$

$$\frac{\sigma_i - \sigma_j}{2} = \tau_k, \qquad E(\varepsilon_{ii} - \varepsilon_{jj}) = \tau'_k, \qquad k_3 = \frac{1-\nu}{2}.$$

Прямые (13) образуют с осью абсцисс угол, определяемый по формуле

$$\alpha_2 = arctgk_2 = arctg(\frac{1+\nu}{2}), \tag{15}$$

а прямые (14) – угол

$$\alpha_3 = arctgk_3 = arctg(\frac{1-\nu}{2}). \tag{16}$$

При $\nu=0$, α_2 и α_3 имеют значения 27°; при $\nu=1$ – $\alpha_2=45°$ и $\alpha_3=0$.

Отсюда следует весьма важный для практики вывод, что сплошная среда, коэффициент Пуассона которой близок к единице, не может передавать силовое воздействие от одной ее части к другой посредством касательных напряжений, т.к. внутреннее сопротивление сдвигу такой среды стремится к нулю.

Таким образом, внутреннее трение и коэффициент Пуассона сплошной среды при ее деформировании и разрушении управляют самоорганизацией формирования внутри среды многочисленных топологических структур, принимающих только такие фрактальные формы, которые при минимальных затратах внутренней энергии смещают равновесный деформационный отклик в направлении уменьшения степени внешнего воздействия. Оба эти параметра отражают метрические свойства поля механических напряжений, обусловленных электрическими полями атомного взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1.Страшко В.А., Шумриков В.В. Энергетическая модель прочности горных пород при их механическом разрушении. Сб. научных трудов Национальной горной академии Украины. – Днепропетровск, 1998. №3, т.3. – С.72 – 75.

2. Барон Л.И. Характеристики трения горных пород. – М. "Наука", 1967. –208 с.

УДК 622.831.325:53.082.74

В.Л. Приходченко

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ЭФФЕКТАХ ПАМЯТИ НАПРЯЖЕННЫХ УГЛЕЙ ПО ИМПУЛЬСНОМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

Розглянуто результати досліджень зразків вугілля в умовах одно-, двох- та трьохосного тиску. Це дозволило оцінити вплив циклічних навантажень на напружено-деформований стан зразків та супроводжуючих процеси щілиноутворення та руйнування параметрів імпульсного електромагнітного випромінювання.

Безопасность труда в горнодобывающей отрасли можно обеспечить проведением непрерывного во времени, оперативного, технологичного и бесконтактного геофизического метода контроля и оценки напряженно-деформированного состояния пород. К данным методам, доказавшим свою перспективность в условиях месторождений различного генезиса, относится метод регистрации импульсного электромагнитного излучения (ЭМИ), удовлетворяющий вышеперечисленным особенностям.

При проведении исследований по применению метода ЭМИ в ИГТМ НАН Украины был изготовлен опытный экземпляр регистрирующего устройства, представляющий собой ферритовую двухсекционную антенну, настроенную на фиксированную рабочую частоту: 100, 200,…, 1000 кГц с шириной полосы пропускания 10…15 кГц.

Образцы угля размером 40x40x40 мм, отобранные с горизонта 865 м пласта "Юльевский" шахты им. К. Маркса, устанавливались на жестком прессе и испытывались в условиях трехосного, двухосного неравнокомпонентного и одноосного нагружения. Одновременно с записью сигналов ЭМИ в процессе деформирования образцов регистрировались показания деформометров и силоиз-