Список литературы

[1] Лазер на кристаллах иттрий-эрбий-алюминиевого граната. Труды ИОФАН, т. 19 / Под ред. Т.М. Муриной. М.: Наука, 1989. 152 с.
[2] Жариков Е.В., Осико В.В., Прохоров А.М., Щербаков И.А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1984. Т. 48. № 7. С. 1330–1342.
[3] Johnson L.E., Guggenheim H.J.// IEEE J. Quant. Electron. 1974. V. QE-10. N 4. P.442-449.
[4] Каминский А.А., Петросян А.Г. // Изв. АН СССР. Сер. неорг. мат. 1979. Т. 15. № 3. С. 543–544.
[5] Huber G., Duczynski E.W., Mitzcherlich P., Teichmann H.O., Lumma D. // J. Phys. 1987. V. 48. N 12. P. C7-347–C7-349.

Поступило в Редакцию
24 января 1990 г.
В окончательной редакции
25 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 12 26 июня 1990 г.

01; 05.2

О ПОРОГЕ ПРОТЕКАНИЯ В ДИСПЕРСНЫХ СМЕСЯХ ПРИ СЖАТИИ

Е.Г. Фатеев

На основе соотношений, связывающих изменение относительной проводимости однофазного пористого тела с давлением при одноосном сжатии, имеющих вид [1]

$$\Lambda_i = \Lambda_{io} B_i = \Lambda_{io} \frac{P_i}{P_{io}} \left[1 - A_i^{2/3}\right] \left[1 + \frac{4}{9} A_i\right]^{1/2}, \tag{1}$$

где

$$A_i = 1 - \theta_i = 1 - \frac{1}{3}\left(\frac{P_i}{P_{io}}\right)^2 \left(-\frac{2}{3} + \sqrt{\frac{4}{9} + 13\left(\frac{P_{io}}{P_i}\right)^2}\right),$$

исследуется зависимость порога протекания обобщенного тока в многокомпонентных дисперсных смесях при сжатии. Здесь Λ_i и Λ_{io} – обобщенные проводимости i -тых фаз дисперсной смеси в про-

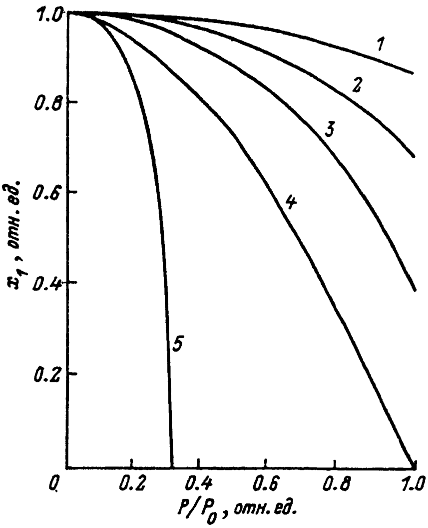

Рис. 1. Зависимость порога протекания от относительного давления, когда одна фаза дисперсной смеси является изолятором $\Lambda_{1n} = 10^{-6}\cdot\Lambda_{2n}$, $\Lambda_{10} = 10^{-4}\cdot\Lambda_{20}$ и $P_{10} = P_{20}$ для пороговых значений Λ_c : 1 – 10, 2 – 1.0, 3 – 0.3, 4 – 0.1, 5 – 0.01.

цессе сжатия и предельные (соответствующие проводимостям фаз без пор и включений других фаз – „монолитное" состояние), P_i и P_{i0} – давления в среде при сжатии и предельное, $\theta_i = V_{i0} / V_i$ – относительная плотность фазы при сжатии ее объема V_i до минимального V_{i0} .

Эти соотношения применимы для описания группы свойств в гетерогенных средах, объединенных под названием „обобщенной проводимости" (электропроводность, теплопроводность, электрическая и магнитная проницаемость). Объединение основывается на известном формальном совпадении дифференциальных уравнений скалярных и векторных полей для стационарных потоков тепла, электрического тока, электрической и магнитной индукции [2]. Соответственно этому, не будет в дальнейшем придаваться значение тому, какая величина представляется под обобщенной проводимостью Λ_i: будет ли это электропроводность σ_i , диэлектрическая проницаемость ε_i или теплопроводность λ_i . Важно то, что стационарный поток свойства в гетерогенной среде пропорционален его удельному значению, площади проводящего сечения и обратно пропорционален длине тела с протеканием при сжатии. В приведенные соотношения не входят абсолютные размеры частиц; это не случайно и может быть обобщено на все случаи, в которых отсутствуют или исключены из рассмотрения поверхностные, линейные и точечные эффекты (например, в случае электропроводности, если пренебрегаются контактные явления). Характер изменения сечения проводимости при сжатии согласуется с изменением геометрии гетерогенной системы и механических свойств фаз при однородных по объему каждой фазы свойствах протекания (подразумевается, что в пределах фазы $\Lambda_i = const$).

Рассматривая порог протекания, ставим ему в соответствие объемную концентрацию наиболее проводящей фазы такую, когда проводимость смеси фаз принята пороговой. Далее будет обсуждаться случай двухфазной смеси при i = 1, 2. Воспользуемся формулой Оделевского [2]:

$$\Lambda = \Lambda_2 \left[1 + x_1 \left(\frac{1-x_1}{3} + \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 - \Lambda_2} \right)^{-1} \right], \qquad (2)$$

где x_1 и Λ_1 – объемная концентрация и проводимость более проводящей фазы, Λ_2 – проводимость менее проводящей фазы. Формула Оделевского найдена для различных гетерогенных сред с разнообразной формой частиц фаз (сфер, цилиндров, игольчатых и столбчатых структур и т.д.) и в диапазоне объемных концентраций $0 \leq x_i \leq 1$. То же можно отнести и к соотношениям (1), найденным при условиях усреднения форм и размеров частиц фаз. Однако это не означает, что для корректного исследования порога протекания в смеси можно брать частицы разных фаз с различными средними размерами. В работах [3, 4] показано существенное влияние соотношения средних размеров частиц фаз в смеси на порог протекания. Полагаем также, что в состоянии квазистатического сжатия смеси должно выполняться условие равенства давлений в обеих фазах $P_1 = P_2$, поскольку на поверхности их соприкосновения силы, с которыми частицы действуют друг на друга, должны быть равны и противоположны [5]. Далее, в формуле (1) необходимо учесть наличие начальной проводимости Λ_{in} в дисперсной среде при отсутствии давления. При этом при любой начальной проводимости предельное значение Λ_{i0} будет все же постоянным. Тогда проводимость фазы при сжатии определяется в виде

$$\Lambda_i - \Lambda_{in} = B_i (\Lambda_{i0} - \Lambda_{in}). \qquad (3)$$

Объемную концентрацию фазы рассчитываем так же просто, как и в [3,6]:

$$x_i = \frac{m_i}{\gamma_i V(P)} = \frac{V_i}{V(P)},$$

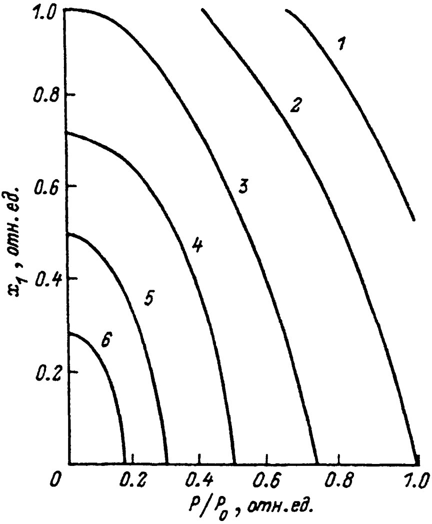

Рис. 2. Зависимость порога протекания от относительного давления, когда обе фазы смеси проводники $\Lambda_{1n} = 10 \cdot \Lambda_{2n}$, $\Lambda_{10} = 5 \cdot \Lambda_{20}$ и $P_{10} = P_{20}$ для пороговых значений Λ_c : 1 – 30, 2 – 15, 3 – 10, 4 – 5.0, 5 – 2.8, 6 – 2.0.

где $V(P)$ –объем смеси при сжатии, m_i и γ_i массы и плотности фаз.

Задаваясь пороговым значением обобщенной проводимости Λ_c, и подставляя (3) и (2) отдельно для каждой фазы, найдем зависимость порога протекания x_1 от давления в следующем виде

$$x_1 = \frac{\eta(1+3c)}{\eta+3}, \tag{4}$$

где

$$c = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 - \Lambda_2} = \frac{\Lambda_{2n} + B_2(\Lambda_{20} - \Lambda_{2n})}{(\Lambda_{1n} - \Lambda_{2n}) + B_2(\Lambda_{2n} - \Lambda_{20}) + B_1(\Lambda_{10} - \Lambda_{1n})}$$

и

$$\eta = \frac{\Lambda_c}{\Lambda_2} - 1 = \frac{\Lambda_c}{\Lambda_{2n} + B_2(\Lambda_{20} - \Lambda_{2n})} - 1.$$

В случае, если одна из фаз является изолятором для данного свойства $\Lambda_1 \gg \Lambda_2$, то порог протекания при сжатии имеет вид

$$x_1 = \frac{\eta}{\eta + 3} \tag{5}$$

и представлен графически для разных значений заданного порога Λ_c на рис. 1. Для случая обоих проводящих фаз $\Lambda_1 > \Lambda_2$ зависимость $x_1(P)$ представлена на рис. 2. В обоих случаях на участке давлений $P < 0.1 \cdot P_0$ зависимость порога протекания от давления несущественна. Данный факт согласуется с результатами работы [3], где показано отсутствие влияния давления в интервале $P <$ 0.8 КБар на порог протекания в случае электропроводности смеси пековый кокс – портландцемент. Такие давления лежат в интервале $P < 0.1 \cdot P_0$, где слабый рост проводящего сечения для гетерогенных структур различных веществ [1].

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность Т.В. Бакицкой за ценные замечания, высказанные в дискуссии.

Список литературы

[1] Фатеев Е.Г. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 2. С. 72–77.
[2] Оделевский В.И. // ЖТФ. 1951. Т. 21. В. 6. С. 668–677.
[3] Зиновьев С.И., Манчук Р.В., Сарин Л.И., Энтин Н.А. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 4. С. 348–350.
[4] Неймарк А.В. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 6. С. 22–26.
[5] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч. 1. М.: Наука, 1976. 584 с.
[6] Malliaris A., Turner D. // J. Appl. Phys. 1971. V. 41. N 2. P. 614–618.

Поступило в Редакцию
3 марта 1990 г.