

4. Лебедкин М. А. // ФТТ, 1993. т. 35, № 7, с. 1890.
- Лебедкин М. А., Дунин – Барковский Л. Р. // ЖЭТФ, 1998. т. 113. в.5 с. 1816.
5. Малыгин Г. А. // УФН, 1999. Т.169, с. 979.
6. Баранов В. М. Акустические измерения в ядерной энергетике. М. Энергоатомиздат. 1990, 320 с.
7. Sharp J. V. Deformation of Neutron – irradiated Copper Single Crystal // Philos. Mag., 1967. V. 16, pp. 77.

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ГЕТЕРОГЕННАЯ СРЕДА И ВРЕМЕННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЕЁ ЭФФЕКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

С.Х. Шамирзаев, Ж.К. Зиёваддинов, Ш.Б. Каримов
 ФТИ НПО «Физика- Солнце» АН РУз, ул. Бодомзор Йўли 2б,
 Ташкент, 100084, Узбекистан. E-mail sham.sez@mail.ru

Рассмотрим образец гетерогенной среды (ГС), находящийся в установившемся режиме. Будем регистрировать изменение его сопротивления через равное число циклов n – наложенной деформации: $R(N), R(N+n), R(N+2n), \dots$. N – произвольное число предварительно наложенных на ГС циклов деформации. (Далее $N_j = N + j*n$). Допустим, что динамика рассматриваемой ГС эффективно описывается всего одной независимой переменной. Тогда на плоскости $R(N_j), R(N_{j+1})$ все точки последовательности $R(N_1), R(N_2), R(N_3), \dots$ будут ложиться на прямую

$$R [N_{j+1}] = B * R [N_j] + C \quad (1)$$

j – последовательность точек, в которых проведены замеры сопротивлений; B и C – константы, характеризующие прямую (1).

Теперь рассмотрим ситуацию, когда динамика ГС описывается двумя независимыми переменными. В этом случае точки $R_j(N_j)$ уже не ложатся на прямую линию, а будут сложным образом разбросаны по плоскости $R(N_j), R(N_{j+1})$. То есть, теперь $R(N_{j+1})$ может однозначно определяться только двумя предыдущими значениями $R(N_j)$ и $R(N_{j-1})$. Иными словами, если размерность динамической системы равна k , то величина $R(N_{j+1})$ оказывается функционально зависимой от $R(N_j), R(N_{j-1}), R(N_{j-2}), \dots, R(N_{j-(k-1)})$, k – штук предшествующих значений измеряемой физической величины. На рис.1 и рис.2 представлены экспериментальные зависимости $R(N)$ от N для простых и сложных режимов нагружения ГС. Параметры B и C зависят от величины и характера наложенных напряжений, а также от технологии изготовления пленочных ГС. В случае сложных режимов нагружения видно, что параметры B и C меняются. То есть, с изменением структуры ГС характер миграции дефектов также меняется.

На рис.3 и рис.4 приведены зависимости $R(N)$ для симметричного и отнулевого режимов нагружения, соответствующих одному и тому же эквивалентному напряжению – 17 кг/мм². На рис 5 и рис.6 в плоскости $R(N_{j+1})/R_0, R(N_j)/R_0$ построены графики для этих же экспериментальных данных. Формула (1) может быть представлена в виде:

$$R_{j+1} = b * R_j + (1 - b) * M = Q(j, b, M) * R_j \quad (2)$$

где b и M – константы в случае простых режимов нагружения; j – номер события: оно состоит в том, что на ГС наложено очередных m циклов деформации, после чего проводится измерение её сопротивления.

Для ГС с фиксированной начальной структурой и фиксированными параметрами нагружения коэффициенты b и M могут быть определены из системы уравнений, построенной с использованием экспериментальных данных:

$$\sum_{j=0}^K [R_{j+1}] = b * \sum_{j=0}^K [R_j] + K * (1 - b) * M \quad (3)$$

$$\sum_{j=0}^K [j * R_{j+1}] = b * \sum_{j=0}^K \{ R_j^2 \} + (1 - b) * M * \sum_{j=0}^K [R_j] \quad (4)$$

K – число замеров в пределах которых b и M не меняются.

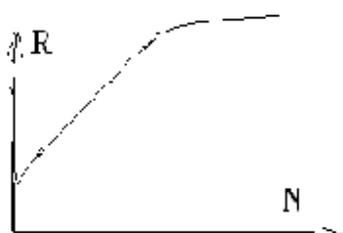


Рис.1 Зависимость эффективного сопротивления – $R_{эфф}$ образца ГС от числа наложенных циклов (простой режим нагружения)

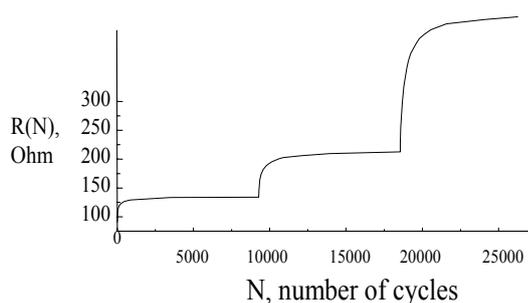


Рис.2 Зависимость эффективного сопротивления – $R_{эфф}$ образца ГС от числа наложенных циклов (сложный режим нагружения)

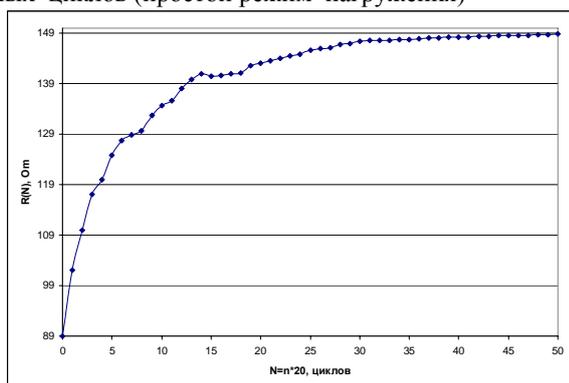


Рис.3 Сложный режим нагружения 300 циклов – 13 кг/мм²; 400 циклов -17 кг/мм²; 300 циклов - 21 кг/мм².

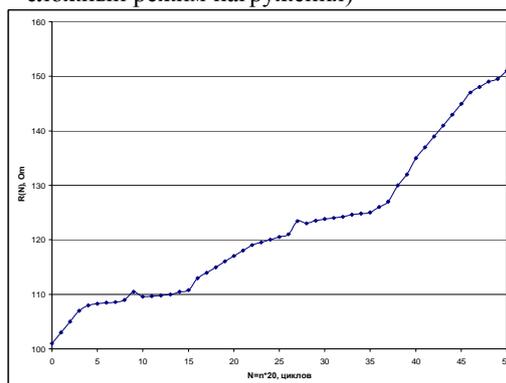


Рис.4 Сложный режим нагружения: 300 циклов - 21 кг/мм²; 400 циклов – 17 кг/мм²; 300 циклов 13 кг/мм². Сравнением с рисунком 3, свидетельствует о некоммутативности соответствующих операторов.

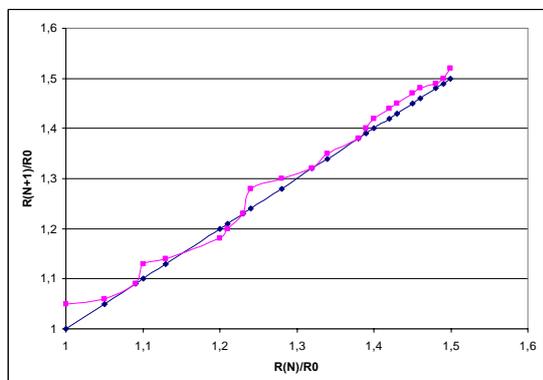


Рис.5 Точечное отображение для сложного режима (см рис. 3). Коэффициент b_n меняется с изменением наложенной нагрузки и числа циклов.

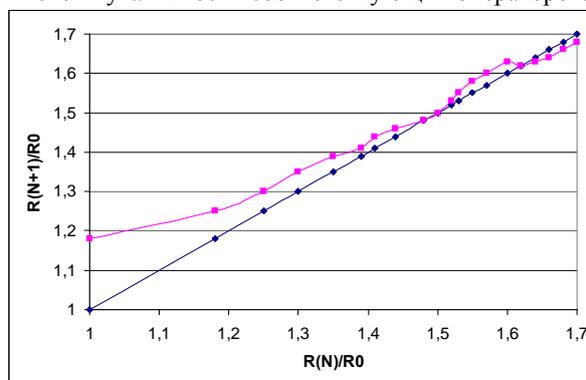


Рис.6 Точечное отображение для сложного режима (см рис.4). Коэффициент b_n меняется с изменением наложенной нагрузки и числа циклов.

Для последовательности двух идентичных событий, можно непосредственно вычислить результат применения оператора $Q(m,b,M)$:

$$R_{i+2} = QR_{i+1} = Q^*(QR_j) = Q^2 R_j = b^2 R_j + (1 - b^2) * M \quad (5)$$

Поэтому последовательное действие n – штук Q операторов даёт

$$R_n = Q^n R_0 = b^n R_0 + (1 - b^n) * M \quad (6)$$

В этой ситуации, если коэффициент $b < 1$, то при $n \rightarrow \infty$, $R_n \rightarrow M$. То есть, точка M является предельной точкой оператора Q . Другими словами, последовательное действие идентичных операторов Q на начальное значение R_0 при $n \rightarrow \infty$ приводит к тому, что сопротивление ГС становится равным

величине M . (см. рис.1). Для сложных последовательностей нагружения (событий) оператору Q следует присвоить индекс. Например, $Q_1 = Q(m_1)$ или $Q_2 = Q(m_2)$. То есть, Q_1 описывает событие, состоящее в том, что на ГС наложено m_1 – циклов деформации, после чего фиксируется его сопротивление, а для Q_2 сопротивление ГС фиксируется после наложения m_2 – циклов той же деформации. В дальнейшем, нижний индекс будет также присваиваться операторам Q_j , имеющим разные предельные точки M_j и коэффициенты b_j

$$Q_j = Q(m_j; b_j; M_j) \quad (7)$$

Подчеркнём, что для структурно идентичных ГС, различие в величинах M_j и b_j означает, что на них наложены различные деформации. Различие может быть обусловлено как амплитудой (σ_j), числом промежуточных циклов (m_j), так и / или по структуре наложенных напряжений.

Коммутативность операторов Q_1 и Q_2 . Для описания сложных режимов нагружения необходимо исследовать коммутативность операторов Q_1 и Q_2 . Итак, сначала на R_0 действует оператор $Q_2 = Q(m_2; b_2; M_2)$, а затем оператор $Q_1 = Q(m_1; b_1; M_1)$:

$$Q_1 Q_2 R_0 = b_1 * b_2 * R_0 + (1 - b_1 * b_2) * M_{12} \quad (8)$$

Здесь M_{12} - предельная точка сложного оператора $Q_{12} = Q_1 * Q_2$, связана с предельными точками M_1 и M_2 следующим соотношением

$$(1 - b_1 * b_2) * M_{12} = b_1 * (1 - b_2) * M_2 + (1 - b_1) * M_1 \quad (9)$$

Для обратной последовательности действия этих же операторов имеем:

$$Q_2 Q_1 R_0 = b_1 * b_2 * R_0 + (1 - b_1 * b_2) * M_{21} \quad (10)$$

Где предельная точка M_{21} в этой ситуации, вообще говоря, отличается от M_{12} и равна:

$$(1 - b_2 * b_1) * M_{21} = [b_2 * (1 - b_1) * M_1 + (1 - b_2) * M_2] \quad (11)$$

Таким образом, коммутативность операторов Q_1 и Q_2 имеет место в одной из трёх ситуаций: $b_1 = 1$; $b_2 = 1$; $M_1 = M_2$. Первое и второе условия соответствуют ситуации единичного оператора, то есть один из операторов есть единичный оператор. Третье условие соответствует идентичности предельных точек рассматриваемых операторов.

Систематическая последовательность $[Q_1^v * Q_2^u]^n$ Рассмотрим более сложную ситуацию, когда оператор Q_2 действует u -раз, затем оператор Q_1 действует v - раз и такая комбинация повторяется n -раз. Для сложного оператора $Q_{v,u} = Q_1^v * Q_2^u$ находим

$$Q_{v,u} R_0 = b_{u,v} R_0 + (1 - b_{u,v}) M_{u,v} \quad (12)$$

Где $b_{u,v} = b_1^u * b_2^v$, а $M_{u,v} = [b_2^v * (1 - b_1^u) * M_1 + (1 - b_2^v) * M_2] / (1 - b_{u,v})$. Если u - фиксировано, а v стремится к бесконечности, то получим $\lim M_{u,v} = M_2$. Если же v - фиксировано, а u стремится к бесконечности, то $\lim M_{u,v} = b_2^v * M_1 + (1 - b_2^v) * M_2$. Таким образом, становится возможным анализировать действие любой последовательности операторов, которая многократно повторяется. Справедливо также и обобщение этих результатов, когда число операторов больше двух.

Оператор математического ожидания и Марковские цепи для операторов ГС также могут быть найдены если известны соответствующие вероятности

РЕЗУЛЬТАТЫ Созданы как принципы метода оценки выходных параметров ГМ и их изменение при наложении необратимой усталостной деформации, так и новый путь анализа динамики реологических структур, формирующих необратимые выходные параметры материалов. Для реальной конструкционной балки с установленными датчиками накопленной усталостной повреждаемости получены экспериментальные результаты подтверждающие разработанную количественную модель.