

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВЯЗКОУПРУГИХ
ФРАКТАЛЬНЫХ СРЕД ДЛЯ ОПИСАНИЯ СВОЙСТВ
КОЖИ

А.Р. Соколовский

Новосибирский технологический институт
Московского государственного университета
дизайна и технологии

Разработка научных основ поведения изделий из кожи при различных физических и механических воздействиях требует знаний закономерностей ее деформационных свойств, которые существенным образом зависят от особенностей ее структуры.

В полимерных системах механическое поведение в основном определяется вязкоупругими свойствами. С помощью измерений вязкоупругих свойств полимеров могут быть получены сведения о природе и скоростях перераспределения конформаций, а также о расположении и взаимодействии микромолекул в полипептидных цепях. Известно, что деформационное поведение кожи в основном также определяется вязкоупругими свойствами [1].

Традиционные методы математического описания вязкоупругих свойств не всегда позволяют провести адекватный анализ. В настоящей работе для установления корректных зависимостей было сделано предположение о фрактальности множества времен событий перестройки структурных параметров кожи в процессе деформирования.

Важной характеристикой фрактального множества является его размерность d_f , которую можно определить из зависимости массы (меры) фрактального множества M_f от L^{d_f} , где L – линейный масштаб [2].

Кроме геометрических, т.е. пространственных фракталов, в последнее время все большее внимание привлекают временные фракталы [3] – фрактальные множества времен событий, в которых следующее событие происходит через промежуток времени τ после предыдущего. При эволюции таких систем можно выделить два предельных процесса. Первый, когда система проходит через все состояния непрерывно, без каких-либо потерь, и второй, когда из непрерывных состояний системы исключаются некоторые отрезки по заданному закону. Такой процесс можно характеризовать как процесс, порождаемый фрактальным состоянием с заданной фрактальной размерностью b .

Единственным элементом кожной ткани, который сохраняется в полуфабрикате на всех стадиях обработки и в несколько измененном виде составляет основу кожной ткани в готовом виде, является коллаген [4,5]. Структура кожной ткани определяется преимущественно строением этого белка, направлением и густотой переплетения волокон.

Следует отметить, что единого взгляда на классификацию элементов надмолекулярной структуры коллагена в настоящее время не существует, но большинство исследователей [6,7,8] склоняются к классификации, приведенной ниже.

Наиболее мелкими, в структурном отношении, считаются филаменты, диаметр их составляет порядка 45 - 50x10 мкм. Агрегируясь, филаменты

образуют субфибриллы: диаметром 100x10 мкм. Следующим структурным объединением являются фибриллы. Более крупные агрегаты, состоящие из 200-300 фибрилл, получили название элементарных волокон. Их диаметр составляет около 50 мкм. Элементарные волокна объединены в пучки коллагеновых волокон, поперечный диаметр которых 200 мкм. Волокна коллагена не имеют твердо установленной длины. В шкуре можно выделить пучки волокон длиной до 15 см и длиннее.

При переходе от промежуточных уровней образования коллагена кожного покрова к завершающему (дерме), утрачивается принцип параллельности упаковки структурных элементов. В объеме дермы кожной ткани меховых шкур волокна переплетаются в различных направлениях, образуя сетку. Пространство между ними заполнено аморфным веществом. Размер промежутков между волокнами коллагена дермы составляет около 5 мкм, то есть в несколько раз меньше диаметра вторичных волокон. Характер и степень плотности /64/ переплетения волокон изменяется в зависимости от вида животного, его породы, а также по топографическим участкам.

Учитывая такую структуру кожной ткани, можно предположить, что она является неоднородным материалом с «длинной памятью», в которой деформация (напряжение) в данном элементе в данный момент времени зависит не только от текущих значений деформаций, температуры и других определяющих параметров, но и от значений этих параметров во все предшествующие моменты множества времен событий, при этом следующее событие происходит через промежуток времени τ после предыдущего.

Для экспериментального подтверждения предположения была разработана методика эксперимента для определения фрактальности времени деформирования кожи по результатам кратковременных квазистатических испытаний при постоянной скорости деформирования.

Для описания вязкоупругих свойств кожной ткани использован дробный интеграл.

$$\frac{\sigma(\tau)}{E} = \varepsilon(\tau) - \int_0^{\tau} R(\tau - s)\varepsilon(s)ds^{\alpha} \quad (1)$$

где: $R(\tau - s)$ - ядро релаксации;

τ - время деформирования, с.

Фрактальная размерность определялась по результатам кратковременных квазистатических испытаний при постоянной скорости деформирования от 0,008 до 0,08 с⁻¹ на разрывной машине РМ-7. Отбор образцов проводился по ГОСТ 938.0-75 вырубленных в направлении преимущественной ориентации волокна кожной ткани. Результаты измерений, представленные в виде серии зависимостей y - e .

Если нагружение вести с постоянной скоростью деформирования $d\varepsilon/dt = v_c$, то из (1) следует:

$$\frac{\sigma(\tau)}{E} = v_c \tau - v_c \int_0^{\tau} Q(x)dx^{\alpha} \quad (2)$$

или

$$L(\tau) = \left\{ 1 - \frac{\sigma(\tau)}{[E\varepsilon(\tau)]} \right\} \cdot \tau = \int_0^{\tau} Q(x) dx^{\alpha} \quad (3)$$

где: $x = \tau - s$;

$$Q(x) = \int_0^x R(x) dx$$

Слагаемое $\frac{\sigma(\tau)}{[E\varepsilon(\tau)]}$ отражает нормированную релаксацию напряжений (нормирующим множителем является мгновенный модуль упругости E).

Продифференцировав обе части уравнения (3) по τ , получим:

$$L'(\tau) = 1 - \frac{\sigma(\tau)}{[E\varepsilon(\tau)]} = \int_0^{\tau} x^{\alpha-1} R(x) dx^{\alpha} \quad (4)$$

Ядро релаксации в первом приближении представим в виде:

$$R(x) = Ae^{-\eta x}$$

Тогда функцию $L'(\tau)$ можно представить в виде:

$$L'(\tau) = \int_0^{\tau} A \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\eta x} dx \quad (5)$$

где: A, α – эмпирические коэффициенты;

α - временная фрактальная размерность.

Разложим подынтегральную функцию в степенной ряд и, ограничившись двумя первыми членами разложения, получим:

$$L'(\tau) = A \cdot \left[\frac{\tau^{\alpha}}{\alpha} - \frac{\eta \cdot \tau^{\alpha+1}}{(\alpha+1)} \right] \quad (6)$$

Параметр α можно определить из системы уравнений:

$$\begin{cases} f(x) = A \cdot \left[\frac{\tau^{\alpha}}{\alpha} - \frac{\eta \tau^{\alpha+1}}{(\alpha+1)} \right] \\ f'_A(x) = \tau^{\alpha} \cdot \left[\frac{1}{\alpha} - \frac{\eta \tau}{(\alpha+1)} \right] \\ f'_\alpha(x) = \frac{A \cdot (\alpha \cdot \tau^{\alpha} \cdot \ln(\tau) - \tau^{\alpha})}{\alpha^2} - A \cdot \eta \left[\frac{\tau^{\alpha+1} \ln(\tau) \cdot (\alpha+1) - \tau^{\alpha+1}}{(\alpha+1)^2} \right] \\ f'_\eta(x) = \frac{A \cdot \tau^{\alpha+1}}{(\alpha+1)} \eta^2 \end{cases} \quad (7)$$

Для определения фрактальной размерности в соответствии с представленной методикой кривые $y - e$ перестраивались в координатах $(1-\sigma/E\varepsilon)$; $-\tau$ и аппроксимировались в соответствии с (7) (см. рисунок).

Получено достаточно хорошее приближение расчетных и экспериментальных кривых при значении фрактальной размерности 0.367.

Для определения корреляции между значениями фрактальной размерности и пористости кожи были проведены экспериментальные исследования. По разработанной методике определялся показатель фрактальной размерности для нескольких групп образцов кожи. Пористость определялась по стандартной методике [9].

В результате эксперимента получили, что пористость первой группы образцов равна 59,3 %; второй группы - 57 %; третьей группы - 55,6 %.

Проведенные эксперименты по определению зависимости между фрактальной размерностью различных групп образцов и пористостью показали хорошую корреляционную зависимость (коэффициент корреляции равен 0,76).

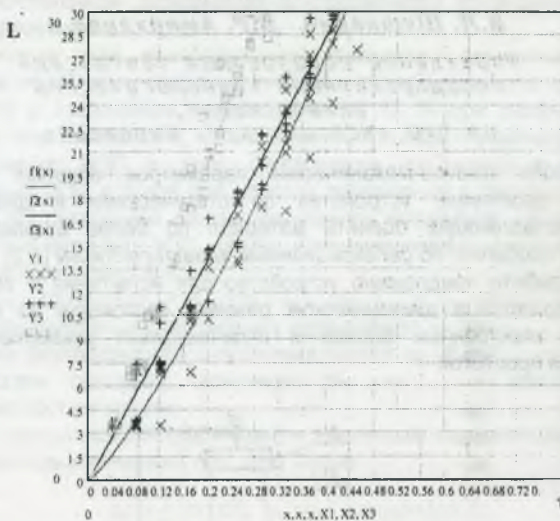


Рисунок - Диаграммы $(1-\sigma/E\varepsilon)$; $-\tau$.

Квадратами и крестиками отмечены экспериментальные значения для разных образцов; сплошные линии - результаты аппроксимации.

Список использованных источников.

1. Бурмистров А.Г., Соколовский А.Р. Применение реологических спектров для оценки структурных изменений кожаной ткани при ее обработке. Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. №1. 1986.
2. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. -254с.
3. Новиков В.В. Вязкоупругие свойства фрактальных сред. ПМТФ. Т.41, №1. 2000.
4. Зайдес А.Л. Структура коллагена и ее изменение при обработках. М.: Ростехиздат. 1960. -341с.
5. Стефанович И.П. Технология меха. М.: Легкая индустрия. 1967. -265с.
6. Химия и технология кожи и меха. Учебник для ВУЗов. /Страхов И.П., Шестакова И.С., Куциди Д.А. и др. М.: Легпромбытиздат. 1985. -496с.
7. Шестакова Н.А. Исследование реологических свойств кожи на основе сетчатой модели. Дис.... канд. техн. Наук. М.: МТИЛП. 1970 -136с.

8. Heidemann E/ Welche frage des Ledeschemikers rann und sollche die Rollagenforschung beantworten? Das Leder. 1978. v.29. №3. p.62-65.
9. Головтеева А.А. Лабораторный практикум по химии и технологии кожи и меха: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромиздат, 1987.-312 с.

УДК 675.05:675.017

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОБУВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Л. Шушкевич, Д.Р. Амирханов

Учреждение образования «Витебский
государственный технологический
университет»,
вф ЧУО «ИСЗ им. А.М. Широкова»

Для контроля физико-механических параметров обувных материалов применяются различные устройства со статическими и динамическими нагрузками, позволяющие оценить материал по более широкому спектру параметров и, особенно, по релаксационным характеристикам [1,2].

В данной работе предложено устройство для испытания и исследования обувных материалов в динамическом режиме, состоящее из стандартных элементов и электронных блоков и отличающееся универсальностью и конструктивной простотой.

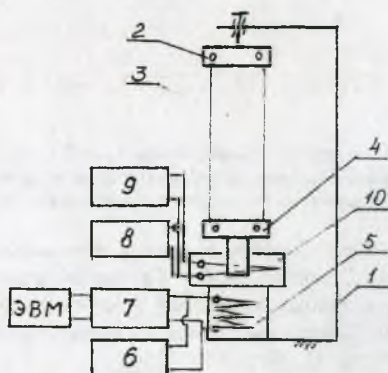


Рисунок 1 - Структурная схема испытательного стенда

1. остов устройства фиксации образца;
2. верхний держатель образца;
3. испытуемый образец;
4. нижний держатель, совмещенный с индуктором;
5. катушка индуктивности;
6. генератор переменной частоты;
7. анализатор спектра;
8. милливольтметр;
9. измеритель индуктивности.