

УДК 519.876.5: 677.024: 53.09

**КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ
РАЗРЫВА ТКАНОГО ПОЛОТНА ПРИ ОДНООСНОМ УДЛИНЕНИИ**

**COMPUTER MODEL OF THE BREAKING PROCESS
OF WOVEN FABRIC DURING ONE-DIMENSIONAL ELONGATION
WITH THE METHOD OF STATISTICAL DYNAMICS**

П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Т.А. САМОЙЛОВА

P.A. SEVOSTYANOV, T.A. SAMOYLOVA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: petrsev46@yandex.ru

В статье рассматривается алгоритм компьютерной имитации статистической динамики удлинения ткани до разрыва образца. Результаты моделирования позволяют изучить динамику развития деформации и разрыва ткани вдольточных нитей.

The article discusses an algorithm for computer simulation of the statistical dynamics of fabric elongation until the sample is broken. The simulation results allow to study the dynamics of the deformation's development and tearing of the fabric along the weft threads.

Ключевые слова: компьютерная модель, основа, уток, удлинение, деформация, разрыв.

Keywords: computer model, warp, weft, elongation, deformation, breaking.

Механизм развития деформации и разрыва тканого полотна уникален и принципиально отличается как от механизма разрушения сплошных кристаллических или аморфных твердых материалов и полимеров, так и от механизма разрушения композитных материалов [1], [2]. В первом случае механизм разрушения заключается в возникновении и развитии трещин. При этом происходит концентрация напряжений и деформаций на контурах трещин, чем больше напряжения и деформации вокруг трещины, тем быстрее она развивается и тем большую область захватывает. Разрушение композитного материала происходит как вероятностный процесс, распределенный в течение всего времени разрушения по всему объему материала [3...6].

Процесс разрыва тканого полотна проходит несколько этапов. Сначала при удлинении образца ткани механические напряжения и соответствующая им деформация распределяются по площади более или менее равномерно. Если удлинение образца происходит вдоль основы, то уточные нити остаются практически не нагруженными. Их задача – упрочнить основные нити и перераспределить внешнюю нагрузку более или менее равномерно между всеми основными нитями. С нарастанием нагрузки начинает во все большей и большей мере проявляться различие в прочностных свойствах нитей основы на длинах порядка элемента ткани, то есть размера перекрытия нитей основы и утка. Эти длины того же порядка, что и толщина нитей. Неравномерность в линейной плотности нитей, их механической прочности и прочности образующих нить волокон, в силах трения и сцепления между волокна-

ми, – все эти факторы все заметнее проявляются и приводят к различной деформации участков основных нитей в элементе ткани между соседними нитями утка. Возникает эффект положительной обратной связи: чем больше была нарушена структура и прочность локального участка основной нити, тем больше деформируется этот участок нити на последующих этапах удлинения.

При этом также "срабатывает" своего рода коллективный эффект: ослабление одной из нитей основы в элементе ткани приводит к перераспределению нагрузки на остальные нити основы в этом же элементе ткани, т.е. в том же сечении полотна между двумя уточными нитями, которые заключают между собой этот элемент ткани [7]. Аналогичная ситуация возникает в пучке параллельных удлиняемых нитей [8]. Когда одна из них рвется, нагрузка перераспределяется на еще не разорвавшиеся нити. В случае ткани этот "пучок" очень короткий: его длина в пределах одного перекрытия нитей основы и утка. Вследствие указанных особенностей модель динамики удлинения и разрыва тканого полотна нельзя свести к известным моделям деформируемых сплошных сред, полимерных или композитных материалов или пучков параллельных нитей основы, упрочненных благодаря их взаимодействию с нитями утка. Уток не только упрочняет нити основы при их перекрытии и взаимодействии, но и перераспределяет нагрузку между нитями основы.

С учетом приведенных соображений был разработан алгоритм и на его основе компьютерная модель для имитации динамики развития деформации в прямоугольном образце тканого полотна, которое

удлинняется вдоль нитей основы с постоянной скоростью, включая появление изменений в структуре полотна, вплоть до разрыва отделочных нитей основы. Модель имитирует процесс монотонного удлинения прямоугольного образца тканого полотна вдоль основных нитей до возникновения в нем областей разрыва. Разработанная компьютерная имитационная модель этого процесса, с помощью которой эта динамика была детально исследована, описана в работах [2], [5]. Испытание образцов такого рода обычно называют полцикловым испытанием [9]. Деформация удлинения образца в основном связана с удлинением участков основы, расположенных между областями их перекрытия уточными нитями, поскольку в этих областях общая прочность и жесткость материала существенно превышают эти же характеристики нитей основы вследствие тесного взаимодействия: трения и сцепления между основой и утком. Деформация образца содержит случайные вариации, при-

водящие к различной величине этих деформаций для разных элементов ткани. Эти вариации связаны с вариациями в строении нитей основы, свойствах волокон, особенностях перекрытия нитей и др. Если удлинение образца происходит достаточно быстро, эластическая составляющая деформаций не успевает развиваться, и ее можно исключить из рассмотрения.

Для имитации разрыва ткани необходимо учитывать значения предельной разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения для каждого участка основных нитей. Кроме того, следует учитывать описанное выше коллективное взаимодействие нитей в структуре ткани. Эти особенности поведения нитей в образце в процессе разрыва были включены в модель с помощью содержащейся в ней формулы для расчета перераспределения удлинения нитей основы, которые еще остались неразорванными на данном участке образца и на текущий момент времени t :

$$\varepsilon(i, j, t + 1) = \varepsilon(i, j, t) + P_{\max}(k) \exp\left(-\frac{|i - i_{\max}(k)|}{at}\right) \exp\left(-\frac{|j - j_{\max}(k)|}{bt}\right), \quad (1)$$

где $\varepsilon(i, j, t)$ – относительная деформация j -й нити основы в элементе ткани между i -й и $i+1$ -й нитями утка в момент t ; P_{\max} – приращение деформации вследствие удлинения образца в области локальной концентрации напряжения в образце ткани; k – номер участка локальной концентрации деформации. Экспоненциальный закон убывания этого перераспределения с увеличением расстояния между нитями был обоснован в [2]. Включенные в (1) параметры at и bt зависят от t и от переплетения и свойств образующих его нитей. Они "управляют" перераспределением деформации между соседними участками ткани. Эти параметры не поддаются теоретической оценке и могут быть оценены экспериментально. Приведенный в [5] алгоритм имитации и его программная реализация позволили получить имитацию динамики разрыва образца ткани, которую лучше и

полнее всего можно отобразить двумерными полями распределения деформации по площади образца на разных этапах растяжения и разрыва.

Для начального этапа удлинения образца поле деформаций представлено на рис. 1 (статистически однородное поле распределения деформации в образце ткани на начальном этапе удлинения) линиями уровня, которые автоматически разделяют весь диапазон деформаций на текущий момент t на 20 уровней. Модельный образец состоял из 100 основных и 500 уточных нитей. Моделировалось 120 шагов удлинения образца. С нарастанием удлинения образца на статистически однородном фоне деформации нитей постепенно появляются нарушения, которые затем развиваются, перераспределяются по площади образца, пока не происходит разрыв вдоль одной из уточных нитей.

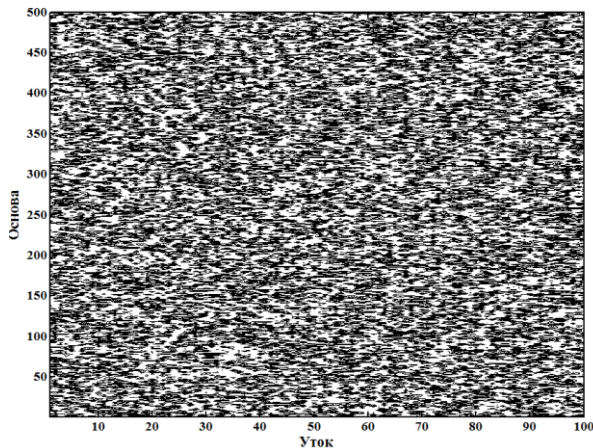


Рис. 1

Развитие неоднородности деформации, появление "очагов" возможных разрывов и концентрация деформации вокруг этих областей показаны на рис. 2 (локализация

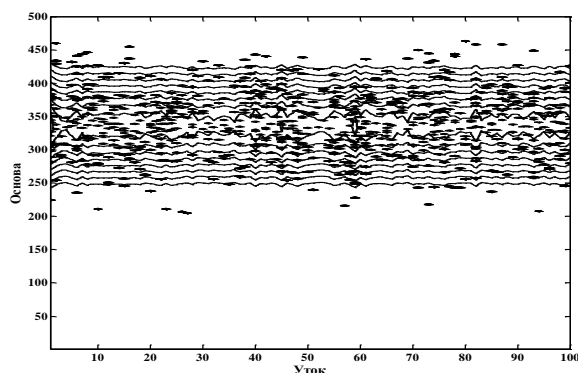


Рис. 2

В качестве информативных показателей статистической неоднородности двумерного поля деформаций $\epsilon(i, j)$ для оценки динамики развития деформации и разрыва были выбраны гистограммы удлинения участков нитей основы перед началом удлинения ($C = 0$), за 5 шагов удлинения ($C = \text{end} - 5$), за 3 шага до разрыва ($C = \text{end} - 3$), при разрыве ($C = \text{end}$), которые приведены на рис. 4. По оси абсцисс для большей информативности рисунка использован логарифмический масштаб.

На рисунке видно существенное изменение не только абсолютных значений удлинения, но и формы распределения. Последнее является доказательством хаотизации деформации и лавинообразного развития процесса разрыва, которые описывает построенная модель, которая явля-

ется примером специфических механико-статистических методов, необходимых для изучения динамики разрыва. Физико-механические и геометрические свойства нитей и ткани в областях деформаций, далеких от разрыва, могут быть использованы лишь как начальные условия для соответствующих компьютерных нелинейных моделей статистической динамики.

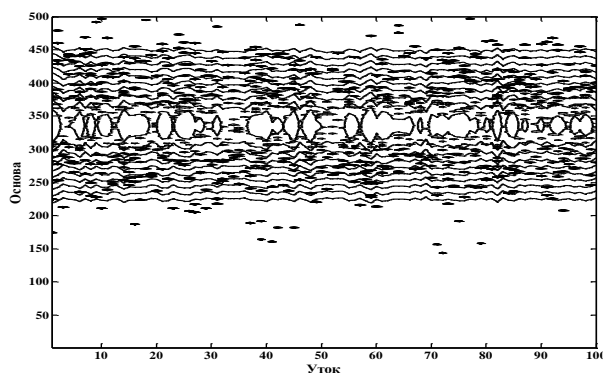


Рис. 3

ется примером специфических механико-статистических методов, необходимых для изучения динамики разрыва. Физико-механические и геометрические свойства нитей и ткани в областях деформаций, далеких от разрыва, могут быть использованы лишь как начальные условия для соответствующих компьютерных нелинейных моделей статистической динамики.

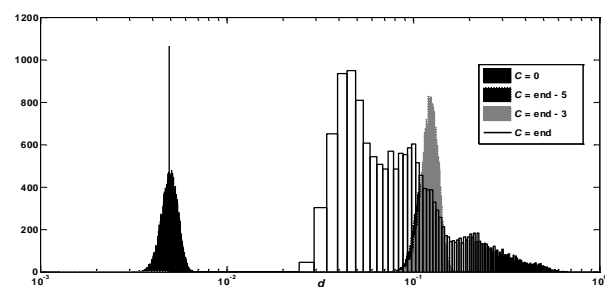


Рис. 4

ВЫВОДЫ

Разработан алгоритм компьютерной имитации статистической динамики удлинения ткани до разрыва образца. Результаты моделирования в виде полей деформаций и распределения деформации по образцу дают наглядную картину динамики развития деформации и разрыва ткани, адекватную известным особенностям этого процесса, которые отличают его от разрыва других материалов: накопление деформации и разрыв вдоль поперечных (уточных) нитей ткани. Показано, что развитие в образце ткани разрыва основы и концентрация деформаций связана со случайными вариациями в структуре и характеристиках свойств систем основных и уточных нитей, которые нарастают по мере увеличения деформаций. Показано, что разрыв образца происходит из-за неизбежных различий в свойствах нитей и их расположении в ткани. Благодаря взаимодействию нитей основы и утка возникающие концентрации напряжения и деформации рассеиваются по соседним участкам ткани, что способствует ее повышенному сопротивлению деформации, а также определяет отличительную специфику природы разрушения – разрыва ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В. Структурные уровни деформации твердых тел. – Новосибирск: Наука, 1985.
2. Севостьянов П.А. Компьютерные модели в механике волокнистых материалов. – М.: "Тисо Принт", 2013.
3. Забродин Д.А., Севостьянов П.А. Моделирование потери свойств текстильных материалов как задача теории надежности // Химические волокна. – 2009. № 4. С.41...43.
4. Севостьянов П.А., Забродин Д.А., Дасюк П.Е., Баландин Е.А. Статистическое компьютерное моделирование одноосного растяжения тканого полотна методом конечных элементов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, № 6. С.102...105.
5. Севостьянов П.А., Забродин Д.А., Дасюк П.Е., Пучкова Н.М. Модель удлинения и разрыва ткани с учетом статистических вариаций параметров нитей и структуры. // Химические волокна. – 2014. №6. С.47...52.
6. Севостьянов П.А. Статистическая имитация растяжения и разрыва пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1981, №3. С.9...13

7. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Монахов В.В. Простая конечноэлементная модель удлинения образца тканого полотна // Технологии и материалы. Витебский государственный технический университет. – Витебск, Респ. Беларусь, – 2018, № 1. С.33...36.

8. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Монахов В.В. Динамика удлинения и разрыва комплексных нитей и ее связь со свойствами элементарных нитей при моделировании полумонокристаллических деформаций // Химические волокна – 2017, № 2. С. 64...66.

9. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Садыкова Ф.Х., Монастырский А.Г. Лабораторный практикум по курсу "Учение о волокнистых материалах" / Под ред. Г.Н. Кукина – М.: Государственное научно-техническое изд-во легкой пром-сти. 1952.

REFERENCES

1. Panin V.E., Likhachev V.A., Grinyaev Yu.V. Strukturnye urovni deformatsii tverdykh tel. – Novosibirsk: Nauka, 1985.
2. Sevost'yanov P.A. Komp'yuternye modeli v mekhanike voloknistykh materialov. – M.: "Tiso Print", 2013.
3. Zabrodin D.A., Sevost'yanov P.A. Modelirovanie poteri svoystv tekstil'nykh materialov kak zadacha teorii nadezhnosti // Khimicheskie volokna. – 2009. № 4. S.41...43.
4. Sevost'yanov P.A., Zabrodin D.A., Dasyuk P.E., Balandin E.A. Statisticheskoe komp'yuternoe modelirovanie jednoosnogo rastyazheniya tkanogo polotna metodom konechnykh elementov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2014, № 6. S.102...105.
5. Sevost'yanov P.A., Zabrodin D.A., Dasyuk P.E., Puchkova N.M. Model' udlineniya i razryva tkani s uchetom statisticheskikh variatsiy parametrov nitey i struktury. // Khimicheskie volokna. – 2014. №6. S.47...52.
6. Sevost'yanov P.A. Statisticheskaya imitatsiya rastyazheniya i razryva pryazhi // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1981, №3. S.9...13
7. Sevost'yanov P.A., Samoylova T.A., Monakhov V.V. Prostaya konechnoelementnaya model' udlineniya obraztsa tkanogo polotna // Tekhnologii i materialy. Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. – Vitebsk, Resp. Belarus', – 2018, № 1. S.33...36.
8. Sevost'yanov P.A., Samoylova T.A., Monakhov V.V. Dinamika udlineniya i razryva kompleksnykh nitey i ee svyaz' so svoystvami elementarnykh nitey pri modelirovanii polutsiklovykh deformatsiy // Khimicheskie volokna – 2017, № 2. S. 64...66.
9. Kukin G.N., Solov'ev A.N., Sadykova F.Kh., Monastyrskiy A.G. Laboratornyy praktikum po kursu "Uchenie o voloknistykh materialakh" / Pod red. G.N. Kukina – M.: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izd-vo legkoy prom-sti. 1952.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления. Поступила 09.04.19.