

УДК 677.022:19.86

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДЛИНЕНИЯ ОСНОВНОЙ НИТИ В ТКАНИ
SIMULATION OF THE WARP THREAD'S ELONGATION IN FABRICS

П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Т.А. САМОЙЛОВА, В.В. МОНАХОВ

P.A. SEVOSTYANOV, T.A. SAMOYLOVA, V.V. MONAKHOV

(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

Исследована деформация нитей основы с помощью метода конечных элементов. В системе Comsol построена модель удлинения основной нити. Изучена роль нелинейной формы, которую приобретает нить при формировании ткани.

The deformation of the warp threads was studied with the use of the finite element method. In the Comsol system, a model of the extension of the warp thread is designed. The role of a non-linear form that acquires a thread in the formation of fabric has been studied.

Ключевые слова: компьютерная модель, основа, уток, удлинение, ткань, нелинейная форма.

Keywords: computer model, warp, weft, elongation, fabric, nonlinear form.

В [1...3] рассмотрены разработанные авторами компьютерные модели деформации и разрыва прямоугольных образцов тканого полотна и описаны результаты некоторых экспериментов с этими моделями. Накопленный опыт работы с этими моделями показал, что они, безусловно, углубляют представления о механизме взаимодействия нитей в ткани, роли переплетения и физической природы волокон, из которых выработаны нити основы и утка [4...7]. Вместе с тем, разра-

ботанные модели ограничены различными условиями, предположениями, неопределенностью исходных данных [8...10]. Это стимулирует разработку новых моделей в качестве эффективных инструментов для дальнейших исследований [11...13].

Рассмотрим роль нелинейной формы, которую приобретают нити основы в процессе их заработка в полотно, при растяжении образца ткани на разрывной машине. В рассматриваемой модели нить основы рассмат-

ривается как сплошная среда. Для исследования ее деформации использован метод ко-

нечных элементов. Геометрическая модель нити основы в полотне показана на рис. 1.

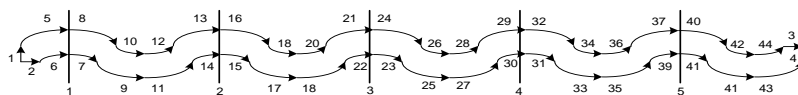


Рис. 1

Контур нити составлен из эллиптических сегментов, которые отмечены порядковыми номерами. Эллиптические сегменты согласуются с формой поперечных сечений уточных нитей и формой основной нити на фотографиях поперечных сечений ткани. Для моделирования динамики удлинения образца вдоль основы с постоянной скоростью зададим краевые условия: сегмент 1 не смещается и не вращается в течение всего моделируемого интервала времени. Сегмент 4 смещается вправо на величину u_4 с постоянной скоростью V : $u_4(t) = Vt$. При растяжении основной нити амплитуды полуволн ее формы уменьшаются, и возрастает сопротивление деформации основы со стороны уточных нитей. Эта специфика деформации основы учтена в модели заданием граничных условий на контуре формы. На сегментах {6, 7, 14, 15, 22, 23, 30, 31, 39, 41} задана нарастающая со временем нагрузка $P(t) = pt$, а на сегментах {10, 12, 18, 20, 26, 28, 34, 36, 42, 44} нагрузка – $P(t)$, которые направлены вдоль оси Y , соответственно в положительном и отрицательном направлениях. $P(t)$ имитируют нарастающее сопротивление уточин распрямлению основы при ее удлинении. К сегментам {7, 12, 15, 18, 23, 26, 30, 34, 39, 42} приложены также силы $T(t) = -mt$. Эти нагрузки имитируют нарастающее противодействие уточин смещению полуволн основы в сторону удлинения. Они направлены вдоль оси X в сторону, противоположную удлинению.

При формировании элемента ткани нить основы подвергается деформации. В результате форма и площадь поперечного сечения, механические характеристики нити в разных сечениях могут заметно отличаться. Эти изменения сохраняются в нити вследствие пластической составляющей ее свойств. В первом приближении эту неоднородность нити по длине можно учесть, задавая модуль уп-

ругости в виде периодической функции по длине нити $E(x) = E_0(1 + A \cos(2\pi x / L_0 - q))$. Здесь E_0 – постоянная составляющая модуля; A – доля переменной составляющей модуля; L_0 – длина раппорта по основе. Аналогичная формула использована для коэффициента Пуассона $m(x)$. Начальная фаза q задавалась таким образом, чтобы наибольшие значения $E(x)$ и наименьшие значения $m(x)$ приходились на участки перекрытия нитей основы и утка.

Как известно [1], [2], [13], любая математическая и компьютерная модель обладает свойствами подобия, которые позволяют задавать все параметры модели в относительных единицах. В описываемой модели наибольшее удлинение равно $D = 10\%$ длины образца. Длина моделируемого участка нити составляла всего пять раппортов, что оказалось достаточным для обнаружения эффектов и нивелирования особенностей деформации на концах нити. Относительная величина амплитуды $A = 0,2$; "средний" диаметр нити равен 20% длины раппорта. В МКЭ для построения сетки использована триангуляция Делоне с числом степеней свободы 12544. Приведенные ниже результаты относятся к конечному состоянию нити по завершении удлинения. Моделирование выполнено в системе Comsol.

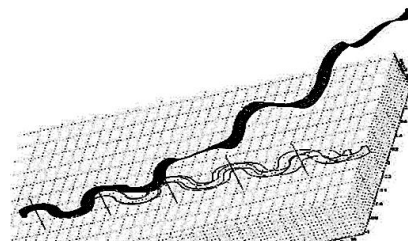


Рис. 2

На рис. 2 показана трехмерная диаграмма распределения удлинения нити и по длине образца. Периодические вариации параметров нити и внешних воздействий от уточ-

ных нитей привели к заметным вариациям и отклонениям от линейного закона, который описывает удлинение однородного и прямолинейного стержня. В нижней части рисунка показаны контуры недеформированной и деформированной нити.



Рис. 3

На рис. 3 показаны линии уровня распределения обобщенного напряжения "по Мизесу" (вверху) и главного компонента тензора относительной деформации ϵ_{ps} (внизу) по оси X в объеме нити. На рис. 4 показано распределение ϵ_{ps} вдоль поперечного сечения у нити в различных поперечных сечениях нити 1...5 на рис. 1 в зависимости от положения этих сечений на длине нити. Сечения показаны на рис. 1 вертикальными линиями.

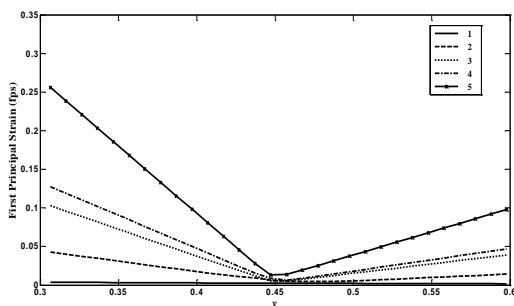


Рис. 4

Из приведенных диаграмм следует, что деформация нити основы при удлинении образца ткани существенно отличается от деформации удлинения нити до заработка ее в ткань. Происходит не просто аффинное пропорциональное преобразование всех сечений нити, но меняется форма нити, например, форма полуволн. Деформация сосредотачивается в основном на участках перекрытия нитей основы и утка. Промежуточные участки основы напряжены в значительно меньшей степени, несмотря на меньшие значения модуля упругости для этих участков благодаря большим углам наклона этих участков к плоскости ткани.

ВЫВОДЫ

Существенная неоднородность деформации нити по длине и поперечным сечениям

должна учитываться при анализе деформации и разрыва ткани, изучении прочности тканых полотен, проектировании и выборе переплетения, при моделировании деформации образцов ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянов П.А. Компьютерные модели в механике волокнистых материалов. – М.: Тисо Принт, 2013. ISBN 978-5-9904852-1-1
2. Севостьянов П.А., Забродин Д.А., Дасюк П.Е. Компьютерное моделирование в задачах исследования текстильных материалов и производств. – М.: Тисо Принт, 2014. ISBN 978-5-9904852-2-8
3. 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.
4. Севостьянов П.А. О закономерности расположения утка в ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1971, №2. С.89...92.
5. Севостьянов П.А. Взаимосвязь между неровнотой пряжи и неровнотой ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1971, №4. С.95...98.
6. Севостьянов П.А. Оценка размера зоны формирования ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1978, №2. С.99...106.
7. Севостьянов П.А., Митихин В.Г., Никитиных Е.И. Исследование на ПЭВМ статистических свойств алгоритмов прогнозирования свойств текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1992, №3. С.66...69.
8. Севостьянов П.А., Радов А.В. Алгоритм моделирования прибора уточных нитей к опушке ткани как волнового процесса в сплошной среде с кулоновским трением // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №2С. С.72...76.
9. Севостьянов П.А., Радов А.В. Исследование роли кулоновского трения в некоторых волокнистых продуктах методами статистического компьютерного моделирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №1. С.77...83.
10. Севостьянов П.А., Никитюк В.Ю., Забродин Д.А., Лебедева В.И. Статистическая имитация истирания тканей методами компьютерного моделирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №2. С.93...96.
11. Севостьянов П.А., Баландин Е.А., Бутенко Т.С. Сингулярный спектральный анализ неравномерности структуры тканых полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №3. С.112...116.
12. Севостьянов П.А., Забродин Д.А. Обобщенная перколяционная модель износа двумерных полотен из волокнистых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №4. С.151...153.

13. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. – М.: МГТУ имени А.Н. Косыгина, 2008.

REFERENCES

1. Sevost'yanov P.A. Komp'yuternye modeli v mekhanike voloknistykh materialov. – М.: Tiso Print, 2013. ISBN 978-5-9904852-1-1

2. Sevost'yanov P.A., Zabrodin D.A., Dasyuk P.E. Komp'yuternoe modelirovanie v zadachakh issledovaniya tekstil'nykh materialov i proizvodstv. – М.: Tiso Print, 2014. ISBN 978-5-9904852-2-8

3. Sevost'yanov P.A., Zabrodin D.A., Dasyuk P.E., Balandin E.A. Statisticheskoe komp'yuternoe modelirovanie odnoosnogo rastyazheniya tkanogo polotna metodom konechnykh elementov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2014, №6. S.102...105.

4. Sevost'yanov P.A. O zakonomernosti raspolozheniya utka v tkani // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1971, №2. S.89...92.

5. Sevost'yanov P.A. Vzaimosvyaz' mezhdru nerovnotoy pryazhi i nerovnotoy tkani // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1971, №4. S.95...98.

6. Sevost'yanov P.A. Otsenka razmera zony formirovaniya tkani // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1978, №2. S.99...106.

7. Sevost'yanov P.A., Mitikhin V.G., Nikitinykh E.I. Issledovanie na PEVM statisticheskikh svoystv algoritmov prognozirovaniya svoystv tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1992, №3. S.66...69.

8. Sevost'yanov P.A., Radov A.V. Algoritm modelirovaniya priboya utochnykh nitey k opushke tkani kak volnovogo protsessa v sploshnoy srede s kulonovskim treniem // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2008, №2S. S.72...76.

9. Sevost'yanov P.A., Radov A.V. Issledovanie roli kulonovskogo treniya v nekotorykh voloknistykh produktakh metodami statisticheskogo komp'yuternogo modelirovaniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2008, №1. S.77...83.

10. Sevost'yanov P.A., Nikityuk V.Yu., Zabrodin D.A., Lebedeva V.I. Statisticheskaya imitatsiya istiraniya tkaney metodami komp'yuternogo modelirovaniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2011, №2. S.93...96.

11. Sevost'yanov P.A., Balandin E.A., Butenko T.S. Singulyarnyy spektral'nyy analiz neravnomernosti struktury tkanykh poloten // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2010, №3. S.112...116.

12. Sevost'yanov P.A., Zabrodin D.A. Obobshchennaya perkolyatsionnaya model' iznosa dvumernykh poloten iz voloknistykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2011, №4. S.151...153.

13. Shcherbakov V.P., Skulanova N.S. Osnovy teorii deformirovaniya i prochnosti tekstil'nykh materialov. – М.: МГТУ имени А.Н. Косыгина, 2008.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления. Поступила 02.04.18.