Изчислителен модел за оценка на мекотата на тъкан с примкова структура по метода на крайните елементи

Николай Николов, Диана Германова-Кръстева, Галя Канджикова

Разработен е изчислителен модел за изследване поведението на тъкан с примкова структура при натиск. Моделът е създаден в САЕ-системата ANSYS[®] Workbench™ и работи по метода на крайните елементи. Описани са междинните етапи при създаване на модела. Показана и анализирана е тъканта при различни стадии на деформиране. Симулационните резултати са сравнени с експериментално получени деформационни криви. Получена е висока степен на съвпадение.

Computational Model for Softness Assessment of Pile Fabrics Applying the Finite Element Method

Nikolay Nikolov, Diana Germanova-Krasteva, Galya Kandzhikova

Computational model for investigation of the behaviour of fabrics with loops under pressure is developed. The model is created in CAE-system for engineering analysis ANSYS[®] Workbench[™] based on Finite Element Method. The intermediate stages in model's development are described. Displayed and analyzed are the different phases of deformation. Simulation results are compared with experimentally obtained deformation curves. The degree of coincidence is very high.

Въведение

Методът на крайните елементи (МКЕ) намира широко приложение при изучаване на поведението на механични, термодинамични, флуидни, електро-магнитни и други системи, тъй като позволява поведението им да се моделира по числен път. В областта на текстилните изследвания методът се утвърди в последното десетилетие главно за симулиране на гъвкавото поведение на текстилни структури и поведението им при разрушаване [1, 2]. Обект на моделиране са площни изделия - тъка́ни и плетени [3, 4, 5], основно композити [6, 7, 1, 5], а също и готови облекла [8]. МКЕ досега не е прилаган за тъкани с примкова структура, каквито са хавлиените изделия.

Мекотата на хавлиите, заедно с добрата им сорбционна способност, е техен основен качествен показател. Мекотата е способността на материала лесно да се деформира под действие на натискови усилия. Тя се определя от различни структурни и материални параметри на тъканта и нишките, които я изграждат: линейни плътности, гъстини по основа и по вътък, височина на примките, модул на еластичност, коефициент на триене и др.

Разработването на модел на тъкан с примкова структура и неговото изследване с помощта на МКЕ би позволило извършването на анализ и прогнозиране на поведението на тъканта при различни натоварвания.

Цел на изследването

Целта е да се разработи изчислителен модел за изследване поведението на тъкан с примкова структура при натиск и да се оцени нейната мекота. Геометричният модел на тъканта е предварително разработен в CAD-системата SolidWorks[®] [9].

За постигане на целта се поставят следните задачи:

- Експериментално изследване на моделираната тъкан и определяне на материалните константи;
- Разработване на модел в ANSYS[®] Workbench[™];
- Осъществяване на необходимите симулационни изчисления;

 Съпоставка на резултатите от експерименталното и симулационното изследване и оценка точността на модела.

Експериментално изследване на поведението на тъканта при натиск

Изследвана и моделирана е сурова хавлиена тъкан, производство на фирма "ЯНА – Панагюрище" АД.

Тъканта е с площна маса 370 g/m². Сплитката в примковата зона е рипс $\frac{2 \bullet}{1}$, а гъстините

TT

– 220 н./dm за основните нишки и 190 н./dm за вътъчните нишки. Всички нишки, участващи в образуването на тъканта, са щапелни прежди от 100% памук, като основните нишки са рингови, а вътъчните – роторни прежди. Линейната плътност на базовите основни нишки е 60 tex, а на вътъчните и примкообразуващите - 40 tex.

При натисково натоварване на тъканта примковата структура "поляга" по посока на наклона на примките, а дебелината на тъканта намалява (Фиг. 1 и Фиг. 2). Дебелината на тъканта при изменение на натисковото натоварване в диапазона от 0,1 до 1 kPa е регистрирана с дигитален дебеломер.



Фиг.1 Деформация при натиск 0,1 kPa

Фиг.2 Деформация при натиск 1 kPa

За реализиране на налягане от 0,1 kPa е използвана вградената в уреда тежест от 20,4 g, а всяка следваща точка от кривата е получена с добавянето на нова тежест от 20 g. Отчитайки площта на притискащата плоча на уреда (20 cm²), са изчислени реализираните върху тъканта налягания в kPa. Резултатите са показани в таблица 1.

Таблица 1

Nº	Натоварване, д	Налягане, kPa	Дебелина, mm
1	20.4	0.10	4.81
2	40.4	0.20	4.31
3	60.4	0.30	4.01
4	80.4	0.39	3.73
5	100.4	0.49	3.54
6	120.4	0.59	3.37
7	140.4	0.69	3.26
8	160.4	0.79	3.12
9	180.4	0.88	3.02
10	200.4	0.98	2.93

Дебелина на хавлиената тъкан при различно натоварване

На Фиг.3 получените данни са представени във вид на крива на деформиране на суровата хавлиена тъкан.

y = -0.8382Ln(x) + 2.9349

 $R^2 = 0.9972$

1

1.2



Чрез регресионен анализ е изведено уравнение, описващо деформационното поведение на тъканта при компресия (Фиг.3). Получената зависимост с голяма степен на точност (R=0,9988) може да се приеме за логаритмична.

Разработване на изчислителен модел

Основните етапи при изграждането на изчислителния модел са:

- 1. Създаване и въвеждане на геометричен модел този етап е описан подробно в [9]. Самият геометричен модел (без притискащите плочи) е показан на Фиг.4.
- 2. Задаване на свойствата на материалите, участващи в модела (памук и стомана) -Табл.2.

Таблица 2

Материални константи				
Параметър	Стойност	Мерна единица		
модул на Юнг за идеализиран памук	1.11×10 ⁸	Pa		
модул на Юнг за стомана	2×10 ¹¹	Pa		
коефициент на Поасон (за стомана и памук)	0.30			
коефициент на триене нишка/нишка	0.52			
коефициент на триене нишка/стомана	0.22			

В случая материалът, от който са изпредени нишките е идеализиран – приет е за хомогенен и изотропен, което в действителност не е така. Приетите стойности на материалните константи са съобразени с тази идеализация.

3. Дефиниране на контактите между повърхнините на модела.

Дефинирани са общо 151 контактни двойки, разделени в следните групи:

- плоча примки;
- примка примка (съседни редове);
- всяка примка със себе си;
- примка основа (примка вътък);
- основа основа (база вътък);
- горна примка долна примка.

5

4,5

4

3,5

3

Дебелина на тъканта, тт

За всеки контакт са задени:

- контактните повърхнини;
- типът контакт свободно приплъзване с триене, възможност за осъществяване на контакт между повърхнини, които не са в първоначален контакт, възможност за прекратяване на контакта поради деформиране;
- коефициентите на триене, съгласно Табл.2.
- Изграждане на мрежа от крайни елементи

Мрежата е изградена преобладаващо от хексагонални крайни елементи с неправилна форма. Този тип мрежа е избрана, тъй като позволява с минимален брой елементи да се омрежи геометричния модел, съставен от нишки с кръгово напречно сечение и плочи (метални повърхности, между които се притиска тъканта).

За да се оптимизира мрежата, плочите са дефинирани като черупки. При замрежването им се получава точно един ред правилни черупкови крайни елементи, за които е зададена дебелина от 0.1 mm.

На Фиг.4 е показана изградената мрежа, като плочите са скрити, за да се види по-добре тъканта. По-гъста мрежа е задавана в зоните с извивки с малък радиус (в основата). Замреженият геометричен модел заедно с притискащите плочи може да бъде видян също в Табл.3, етап 8.



Фиг.4 Замрежен модел на сурова тъкан

Освен показаните на Фиг.4 структурни крайни елементи (9817 на брой), мрежата съдържа и контактни крайни елементи (211724 на брой), които не могат да бъдат изобразени. Големият брой контактни елементи значително увеличава необходимостта от изчислителен ресурс за провеждане на симулацията.

5. Задаване на начални и гранични условия

- На плочите са отнети всички степени на свобода, с изключение на преместването по направление, перпендикулярно на основата;
- Върху плочите са приложени сили, насочени към основата, с големина 0.02544 N, което съответства на налягане 1 кРа за площ от 3×4 повтора размера на създадения модел.
- Краищата на всички нишки са фиксирани в пространството, с изключение на задните краища на примковите нишки, които са закачени за вътъчните по начин, който не позволява отделянето им от основата.

Моделирането е извършено на етапи, представени в Табл.3. На всеки следващ етап моделът е усложняван като геометрия, което позволява последователно да се изучат отделните видове контакти и взаимодействия между нишките, да се настрои и оптимизира мрежата и други параметри на модела.

Таблица 3



Етап 1: Една примка контактува с една плоча.

<u>Етап 2</u>: Две примки от една нишка контактуват с една плоча и два цилиндрични фрагмента от вътъчни нишки.

Етап 3: Четири примки от две съседни нишки контактуват с плоча.

TT

<u>Етап 4</u>: Четири примки от две съседни нишки контактуват с една плоча и пет вътъчни нишки (с реална форма).

<u>Етап 5</u>: Има същата геометрия като етап 4. За разлика от предходните етапи, тук е добавено и триене между контактните повърхности. Окончателно е оптимизирана мрежата, при което броят структурни крайни елементи е намален с 30%.

<u>Етап 6</u>: Девет примки от три съседни нишки контактуват с една плоча и седем вътъчни нишки.

<u>Етап 7</u>: Осемнадесет примки от шест съседни примкови нишки контактуват двустранно с две плочи и единадесет вътъчни нишки.

<u>Етап 8</u>: Осемнадесет примки от шест съседни примкови нишки контактуват двустранно с две плочи и дванадесет вътъчни нишки. Вътъчните нишки контактуват и с шест базови нишки.

Резултати от моделирането

Резултатите от моделирането с описания по-горе модел могат да бъдат изведени във вид на таблици, графики, изображения и анимации. Изображенията позволяват визуално да се оценят деформацията на тъканта, взаимодействието между отделните нишки при деформиране, влиянието на тези взаимодействия върху коравината (мекотата). Такива изображения са показани на Фиг. 5, 6 и 7. От тези фигури се вижда, че процесът на деформиране на тъканта при натиск преминава през няколко стадия:

I стадий – деформациите са малки, примките все още не контактуват помежду си, а само с основата и плочите (Фиг.5).

II стадий - върховете на примките опират един в друг, всички примки контактуват и с плочата (Фиг.6).

III стадий – деформациите са големи, примките образуват керемидална структура (Фиг.7).

На всеки следващ стадий структурата става по-корава, което води до намаляване на наклона на пресметнатата крива на деформиране на тъканта, показана на Фиг.8.



TT

Оценка на точността на модела

На Фиг.8 са представени деформационните криви, получени експериментално и в резултат на симулацията. От фигурата се вижда, че степента на съвпадение е много добра.



Фиг.8 Дебелина на хавлиената тъкан при различно налягане, получена чрез експеримент и симулация

Линейният корелационен коефициент между експерименталните и симулационните резултати е R=0,99, което също показва че представения модел може успешно да се използва за изследване поведението на хавлиена тъкан при натисково натоварване.

Оценка на мекотата на тъкан с примкова структура

Мекотата на площните изделия се оценява чрез степента на компресия, определена съгласно БДС EN ISO 5084:2002 от дебелините при стандартно и при десетократно повисоко налягане:

$$ZA_{x} = a_{x} - a_{10x}$$
 и (1)
 $ZR_{x} = \frac{ZA_{x}}{a_{x}}.100$, (2)

където ZA_x е абсолютната степен на компресия, mm;

*ZR*_x – относителната степен на компресия, %;

*а*_{*x*} – дебелината при налягане 0,1 kPa, mm;

*а*_{10х} – дебелината при налягане 1 kPa, mm.

Степента на компресия, пресметната по експерименталните данни е 39,09%, а тази по данни от представения модел е 36,23%.

Относителното отклонение между получените две стойности на степента на компресия е 7,32%, което е достатъчно малко с оглед на поставените пред модела цели. Това дава основание да се твърди, че разработеният модел може да се използва за прогнозиране и оценка на мекотата на тъкани с примкова структура.

Заключение

Поведението на хавлиена тъкан при компресия е успешно моделирано с помощта на компютърен модел, работещ по метод на крайните елементи. Направените съпоставки на резултатите от моделирането с експериментални данни показват незначителни отклонения, което дава основание да се твърди, че разработеният модел е подходящ за оценка на мекотата на тъкани с примкова структура.

Разработката е финансирана от Фонд "Научни изследвания", Договор № ДДВУ 02/57 "Комплексно изследване и оценка на мекотата на тъкани с примкова структура".

<u>Литература</u>

1. Whitcomb J. D., Woo K. Enhanced Direct Stiffness Method for Finite Element Analysis of Textile Composites, Composite Structures, Volume 28, Issue 4, 1994, pp. 385-390.

2. Whitcomb J. D., Woo K. Enhanced Direct Stiffness Method for Finite Element Analysis of Textile Composites, Composite Structures, Volume 28, Issue 4, 1994, pp. 385-390.

3. Araujo M. de, Fangueiro R., Hong H. Modelling and Simulation of the Mechanical Behaviour of Weft-Knitted Fabrics for Technical Applications, Part II: 3D Model Based on the Elastica Theory, AUTEX Research Journal, Vol.3, No4, December 2003.

4. Araujo M. de, Fangueiro R., Hong H. Modelling and Simulation of the Mechanical Behaviour of W eft-Knitted Fabr ics for T echnical A pplications, P art I V: 3D FE A Model with a Mesh of Tetrahedric elements, AUTEX Research Journal, Vol.4, No2, December 2004.

5. http://www.mtm.kuleuven.ac.be/Research/C2/poly/index.htm.

6. Woo K., Whitcomb J. D., Three-Dimensional Failure Analysis of Plain Weave Textile Composites Using a Global/Local Finite Element Method, Journal of Composite Materials, June 1996 vol. 30 No. 9, pp. 984-1003.

7. Whitcomb J. D., Woo K. Enhanced Direct Stiffness Method for Finite Element Analysis of Textile Composites, Composite Structures, Volume 28, Issue 4, 1994, pp. 385-390.

8. Etzmuss O., Keckeisen M., Strasser W. A Fast Finite Element Solution for Cloth Modelling, Computer Graphics and Applications 2003, Proceedings 11th Pacific Conference, 8-10 Oct. 2003, pp. 244 – 251.

9. Nikolov N., D. Germanova-Krasteva, G. Kandzhikova. Development of a 3D Geometric Model of Pile Fabric (in Bulgarian), Textile conference 2010 "Innovation in Textiles and Clothing", 21-22 October 2010, Sofia.