

УДК: 677.014.57

## **О МЕТОДЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НДС ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Шеромова И.А., Старкова Г.П.

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса  
Железняков А.С.

Новосибирский технологический институт МГУДТ

При проектировании технологического оборудования для производства и переработки волокнистых материалов обычно используются традиционные методы без учёта их деформации. В действительности, вследствие контактных взаимодействий с рабочими органами технологического оборудования, легкодеформируемые материалы подвергаются разнонаправленным деформациям, что приводит к десинхронизации скоростных режимов обработки, появлению дополнительных погрешностей в устройствах измерения геометрических параметров и т.д. Так, например, величина деформации легкодеформируемых материалов при намотке в рулон на операциях промера и разбраковки может достигать 6% и более [1, 2], что делает работу по созданию высокоточных измерительных систем измерения длины без учета технологически создаваемых деформаций малоэффективной.

Конструкции многих технологических машин могли быть пересмотрены, если бы на стадии проектирования использовалась информация о перемещении элементарных участков материалов в местах контакта с рабочими органами, зонах их свободного провисания, ориентации относительно заданной линии движения и т.д.

Если практикуемые производственные технологии и действующие оборудование не позволяют устранить появляющиеся изменения в макроструктуре материалов при их обработке, то необходимо иметь возможности их прогнозирования и учёта влияния на выходные параметры объекта, что принципиально может быть решено посредством современных средств проектирования процессов и технических средств их обеспечения.

В работе рассматривается методика и результаты исследований статического деформирования волокнистых материалов методом конечных элементов (МКЭ). Такой подход позволяет в ряде случаев отказаться от дорогостоящих и длительных экспериментов и посредством моделирования процессов получить недостающие данные для проектирования исполнительных механизмов машин и параметров технологических операций.

В общем случае МКЭ позволяет решить следующую систему линейных уравнений вида:

$$P = K \cdot \Delta ; \quad (1)$$

где  $P$  - система приложенных сил;  $K$

$\Delta$  – соответственно матрицы жёсткости и перемещений исследуемого объекта.

Объединённая запись матричного уравнения для трёхмерного объекта, когда третий линейный параметр принят равным «1», имеет вид:

$$\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \dots p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} \dots p_{2n} \\ \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} \dots p_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \dots k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} \dots k_{2n} \\ \dots & \dots \\ k_{m1} & k_{m2} \dots k_{mn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} \dots \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} \dots \delta_{2n} \\ \dots & \dots \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} \dots \delta_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Решение матричного уравнения (2) известными программными средствами (COSMOS/ M; ANSYS; ALGOR и др.) сводится к следующему:

- модель объекта разбивается на конечные элементы;
- для каждого элемента составляется матрица жёсткости  $k$  ;
- матрицы жёсткости отдельных конечных элементов объединяются в матрицу жесткости объекта;
- решается система уравнений (2) и определяются перемещения узлов конечных элементов  $\delta$  ;
- на базе теории упругости определяются деформации и напряжения в узловых точках исследуемого объекта.

Для решения системы уравнений (2) в общем случае необходимы численные значения модуля упругости объекта ( $E$ ), условного коэффициента

Пуассона (или поперечного сокращения  $-\mu$ ) и предела пропорциональности ( $\sigma_n$ ), что должно быть, вследствие отсутствия для текстильных материалов достаточной информации, получено экспериментальным путём.

Для апробации методики и исследования возможностей использования МКЭ при прогнозировании НДС материалов воспользуемся известными экспериментальными данными [1]. Кривые деформации материалов (рис.1) в области двух зон I и II действующих сил могут быть аппроксимированы соответственно функциями вида:

$$\varepsilon_{1,2} = a_{1,2} T_1,$$

где  $\varepsilon_{1,2}$  - относительная деформация материала, %;

$T_1$  - сила натяжения, Н;

$a_{1,2}$  - коэффициенты, определяющие наклон графиков деформаций для I-ой и II-ой зоны нагружения.

Допустим, что условный модуль упругости материала ( $E$ ) в зонах рассматриваемых деформаций определяется известным выражением

$$E = \frac{T l}{\Delta l \cdot F}, \quad (2)$$

где  $l$  и  $\Delta l$  – соответственно первоначальная длина, м;

$\Delta l$  – удлинение, м.

С учётом того, что

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} 100 \%,$$

выражение (2) приведём к виду:

$$E = \frac{T_1}{\varepsilon_1 \cdot F} 100\% ;$$

Но так как

$$a_{1,2} = \frac{\varepsilon_{1,2}}{T_1},$$

то 
$$E = \frac{1}{a_{1,2} \cdot F} 100\%. \quad (3)$$

Рисунок 1- Экспериментальная зависимость  $\varepsilon = f(T)$

Для I-ой зоны деформаций разных артикулов материалов значения  $a_1$  и площади их поперечных сечений ( $F$ ) представлены в таблице.

Таблица

Артикул ткани	3716	61983	84	21
$a_1$	1,246	18,563	7,199	24,776
$F \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2$	42	72	42	60

Согласно данным таблицы и выражению (3) условные модули упругости (быстрого процесса [3]) для рассматриваемых артикулов будут соответственно равны:

$$E_{3716} = 1,911 \text{ МПа}; \quad E_{61983} = 0,075 \text{ МПа};$$

$$E_{84} = 0,331 \text{ МПа}; \quad E_{21} = 0,067 \text{ МПа}.$$

На рисунке 1 выделены две зоны деформации, изменяющиеся в исследуемом диапазоне нагружения ( $T_1$ ) по линейным законам. Границы между зонами определяются пределами условной упругости материалов.

$$\sigma_{n_{3716}} = 0,0233 \text{ МПа}; \quad \sigma_{n_{61983}} = 0,0082 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{n_{84}} = 0,0187 \text{ МПа}; \quad \sigma_{n_{21}} = 0,0098 \text{ МПа}.$$

В качестве примера проведём МКЭ исследования НДС материала арт. 84 (трикотажная группа материалов), движущегося по горизонтальной поверхности разбраковочного экрана 1 контрольно-мерильной машины и взаи-

модействующего с мерительным роликом 2 (2).

На материал действуют следующие виды нагружения: сосредоточенная сила ( $T$ ), состоящая из силы трения материала по столу от веса ролика и его трения качения в опорах, нагрузка на единицу площади материала от сил трения по столу ( $q_1$ ), погонные нагрузки от натяжения при размотке ( $q_2$ ) и от привода движения материала ( $q_3$ ).

Согласно предварительным расчётам

$$T=0,227 \text{ Н}; q_1 = 5,75 \text{ Па}; q_2 = 3,91 \text{ Н/м}; q_3 = 6,39 \text{ Н/м}.$$

Рисунок 2 – Схема действия сил

Принятые значения являются составляющими вектора сил ( $P$ ) матричного уравнения (1). Расчёт НДС материала проводился по схеме трёхмерного твёрдотельного проектирования с использованием модуля FEA Calculation 3D. Согласно процедуре моделирования после проверки степеней свободы и состояния равновесия по рассматриваемым нагрузкам запускается опция генерации сетки конечных элементов (рис.3). Далее определяется количество элементов и узлов сетки, строится и решается система уравнений относительно искомых параметров.

Рисунок 3 – Схема разбиения объекта на конечные элементы

Результаты моделирования представлены на рисунке 4 в виде диаграммы перемещений (деформаций) материала, которая отражает степень неравномерности их распределения. При этом наиболее рельефно выделена локальная зона НДС материала, создаваемая его контактом с мерительным роликом 2 (см. рис.2).

Рисунок 4 – Характер и значения деформации материала

Результаты моделирования НДС материалов могут быть представлены как в виде минимаксных значений, так и в виде полного листинга значений напряжений и перемещений во всех узлах генерируемой сетки (в данном

случае 15385 узлов).

Количество узлов определяется выбором размера конечного элемента. Полученные расчётные перемещения (деформации) являются одной из составляющих частных погрешностей измерения длины материала, что может быть учтено на стадии проектирования измерительного оборудования и оценки точности воспроизведения заданных функций.

В рассмотренном примере по результатам расчёта МКЭ (только для рассматриваемой первой области деформаций) получено перемещение узлов конечных элементов объекта по оси X, равное 1,004 мм, что соответствует 0,2 % вносимой погрешности при измерении длины материала.

### Выводы

Методика проектирования процессов и оборудования для производства и переработки волокнистых материалов с использованием МКЭ позволяет значительно сократить процедуры поиска рациональных технологических и технических решений, обеспечить требуемую точность воспроизведения заданных функций, прогнозировать режимы работы аппаратных средств и вносить необходимые коррективы в конструктивно-технологические параметры вновь создаваемых технических объектов.

### Список использованных источников

1. Железняков А.С., Старкова Г.П., Веретено В.А. Процессы и технические средства подготовки материалов к раскрою в производстве одежды. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 146 с.
2. Бондарев А.А. Разработка методов прогнозирования изменений размеров ткани при производстве одежды. Авт. канд. дис., -М.: МТИЛП.-1987.-22с.
3. Никитин А.А. и др. Исследование свойств пакетов обувных материалов при многоосном растяжении. //Кожевенно-обувная про-сть. №5, 2003.-С.38-40.