

УДК 677.051

**МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ
МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
(ЛЕНТЫ КОРОТКОГО ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА)
В ВАЛКАХ, ВРАЩАЮЩИХСЯ С РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТЬЮ***

**METHODOLOGY OF DEVELOPING A MODEL
OF MULTI-LAYER COMPOSITE MATERIAL
(SHORT-FIBER FLAX RIBBON)
IN THE ROLLS, ROTATING WITH DIFFERENT VELOCITIES**

A.B. ПУСТОВОЙ
A.V. PUSTOVOY

(Костромской государственной технологической университет)
(Kostroma State University of Technology)

E-mail: tmm@kstu.edu.ru

В работе представлена методология разработки конечно-элементной модели, описывающей взаимодействие композитного материала с валковой парой. Модель применима для исследования процесса подготовки ленты из короткого волокна для очистки и утонения и при исследованиях процессов транспортирования и прокатки различных слоистых композиционных материалов.

A methodology of developing the finite-element model of composite material and roll-pair interaction was presented. This model may be used in design of the short-fiber ribbon preparation for cleaning and thinning, and also for transporting and rolling process design of the different multi-layer composite materials.

Ключевые слова: лен, обработка льна, метод конечных элементов.

Keywords: flax, flax processing, finite-element analysis.

В технологии производства котонизированного льняного волокна применяется следующая схема обработки. В валковой паре, вальцы которой могут вращаться с одной или разными скоростями, прокаты-

вается лента короткого волокна. Лента короткого волокна представляет собой совокупность ориентированных волокнистых комплексов. Волокнистые комплексы в свою очередь состоят из элементарных во-

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук Корабельникова А.Р.

локон, склеенных матрицей (естественными клеящими веществами). Волокнистые комплексы могут быть соединены между собой элементарными волокнами или матрицей, а могут представлять из себя отдельные тела, контактирующие с соседними комплексами посредством сил трения или посредством сил сцепления [1]. В результате обработки в валках и ленте возникает сложное напряженно-деформированное состояние, описать которое традиционными аналитическими методами, такими как системы дифференциальных уравнений, затруднительно. Учет в модели неоднородности самого материала делает задачу неразрешимой [2].

Обработка материала в валках – пространственный процесс не только в текстильной, но и во многих других отраслях промышленности, в металлообработке, в легкой, в пищевой промышленности и других. Во многих случаях в валках обрабатывается, транспортируется или деформируется именно композитный материал, имеющий однородную структуру (ленты, состоящие из склеенных материалов, и т.п.) или неоднородную структуру (изделия из кожи, древесины, бумаги и др.).

Анализу явлений, наблюдающихся в валковых парах, посвящено множество ра-

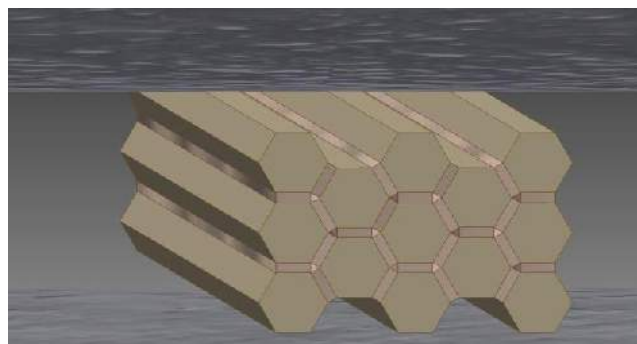
бот в различных отраслях [3]. Однако работ, посвященных анализу напряженно-деформированного состояния в композитном материале, обрабатываемом в валках, нами не обнаружено. Кроме того, большая часть работ такой тематики касается лишь поиска аналитических зависимостей.

Целью работы является разработка методических основ создания модели описанного выше процесса обработки натурального композитного материала, анализ которого позволил бы провести оценку напряженно-деформированного состояния материала, установить взаимосвязи между параметрами валковой пары и напряжениями, возникающими в материале, спрогнозировать свойства материала после обработки в валках.

Первый этап разработки модели состоит в выборе адекватной геометрической модели валковой пары и материала. Нами предложена следующая модель взаимодействия валковой пары со слоем волокна. Она состоит из двух частей – валкового устройства 1 и обрабатываемого материала 2 (рис. 1 – модель комплекса технического волокна, зажатого в паре: а) – общий вид, б) – крупный план).



а)



б)

Рис. 1

Модель представляет собой два валка, диаметром 80 мм, и слой волокна, зажатый между ними. Валки вращаются с определенной скоростью, причем нижний вал зафиксирован на оси, а ось верхнего вала подвижна по вертикали. К верхнему валку при-

ложена нагрузка, различная в нескольких вариантах проведения эксперимента [4].

Толщина слоя материала составляет 4 мм, длина 0,4 м. Формально модель является двухмерной, но толщина задается через механизм "характеристик сечений" для возможности расчета напряжений в телах.

Это допущение связано с отсутствием необходимости анализа прогиба валов и других явлений в поперечной проекции. Ширина валков и прокатываемого материала – 30 мм. Большая часть слоя по его длине выполнена из конечных элементов прямоугольного типа и максимально возможной величины, при которой не происходит нарушения формы элементов. Около 100 мм длины слоя приходится на опытный участок, где и проводятся все измерения, величина конечного элемента на нем падает примерно до 0,1 мм. Также на этом участке слой разделен на продольные чередующиеся полосы различных материалов.

Лента короткого волокна в действительности состоит из ряда чередующихся слоев, между которыми в реальном объекте существуют прочные связи на физическом и химическом уровне. Ряд комплексов могут быть отдельными. Но поскольку нас интересует распределение напряжений и деформаций внутри именно склеенных комплексов, мы моделируем весь слой материала как единый склеенный комплекс, то есть как одно тело, имеющее неоднородную структуру [5].

Это позволяет не использовать контактные пары и систему предварительного нагружения в месте сопряжения двух соседних слоев, что значительно ускоряет решение. Конечные элементы, моделирующие волокна и матрицу, имеют только упругие свойства, различные плотности и модули упругости. Допущение об отсутствии пластических свойств связано с тем, что на данном этапе изучения процесса нас интересует сравнительная величина напряжений в матрице и волокнах. В связи с этим мы принимаем модель в виде упругих тел. Однако ANSYS позволяет придавать телам и пластические свойства. Значение модулей упругости $2 \cdot 10^7$ Па – для волокон и $2 \cdot 10^8$ Па – для матрицы. Таким образом, порядок этих величин сохраняет порядок значений модулей упругости, приведенный в работе [6].

Нижний валок жестко зафиксирован по оси вращения с лишением подвижности по осям X и Y, сохранением возможности поворота вокруг оси Z. Верхний валок за-

фиксирован по оси вращения с лишением подвижности по оси X. Частоты вращения валков могут быть различны. При исследованиях нами принималось: частота нижнего вала постоянной для всех испытаний – 70 рад/с; частота верхнего вала различна от 70 до 140 рад/с; к верхнему валку приложена нагрузка 300 Н. Значения этих величин обусловлены параметрами конкретного экспериментального стенда разработанного на кафедре для моделирования этого процесса [7].

Угловые скорости задаются через механизм компонентов, определяется центр вращения, который может быть подвижным. Нагрузки могут быть приложены к узлу любого конечного элемента (сосредоточенные) или к линии или поверхности (распределенные).

При моделировании валки могут быть смоделированы различным образом. В тех случаях, когда нас интересует напряженно-деформированное состояние в валках, моделировать валки необходимо в виде сплошных тел, заполненных элементами типа Plane для плоских моделей и Solid для объемных. Размер элементов варьируется от рабочей поверхности, где длина стороны элемента наименьшая, до центра вала, где сторона максимально возможная. С одной стороны, количество элементов должно быть наименьшим для сокращения времени решения. С другой стороны, для нормальной работы механизма "контактной пары" размеры контактирующих элементов должны быть сопоставимыми [8].

В случае, когда информация о напряженно-деформированном состоянии в валках не используется в исследовании, для ускорения вычисления рекомендуется моделировать валки в виде замкнутой цепи конечных элементов линейного типа Beam, повторяющих их контур, и линий-перемычек, необходимых для фиксации их по оси вращения, наложения нагрузок и частот вращения (рис. 2 – фрагмент конечно-элементной модели валковой пары 1 и комплекса технического волокна 2: а) – вариант модели со сплошными валками и схема приложения нагрузок; б) – вариант модели с несплошными валками). Также

такая конструкция позволяет значительно уменьшить количество элементов и узлов. Такой валок по-прежнему имеет массу благодаря механизму "характеристик се-

чений". Освободившиеся ресурсы вычислительной техники можно использовать для дальнейшего усложнения структуры модели обрабатываемого материала.

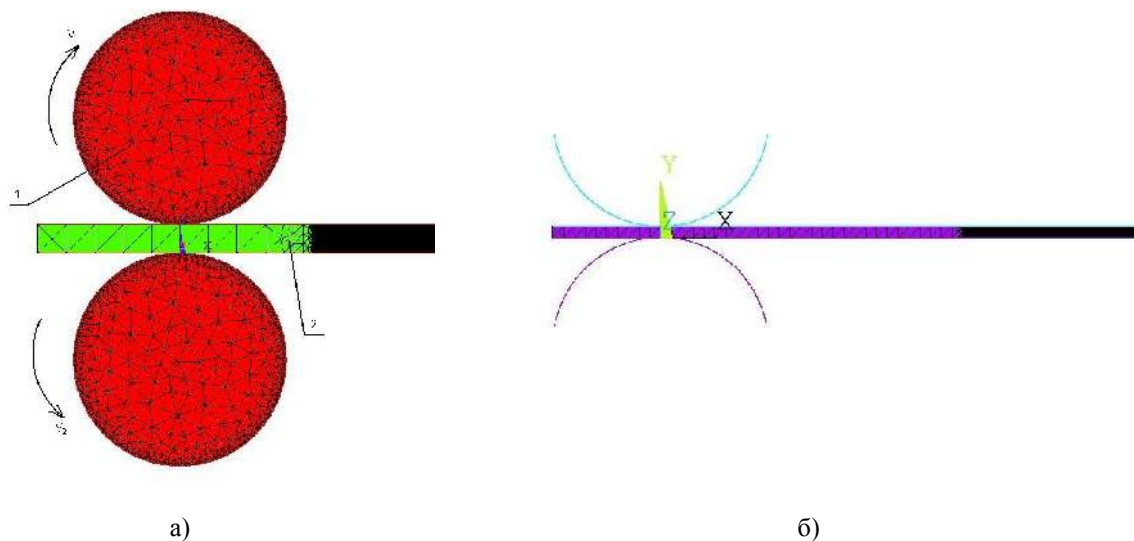


Рис. 2

Между валками (сталь) и прокатываемым композитом (лен) установлен механизм контактной пары, коэффициент трения принят равным 0,3 [9].

Для справки, ППП ANSYS, как и большинство "тяжелых" САЕ-систем, имеет четыре варианта вычисления результата при твердотельном моделировании.

– small displacement static.

Небольшие перемещения без учета времени. Самый простой и быстрый вариант расчета. Все деформации подчиняются закону Гука, в механической системе не должно быть свободно перемещающихся или поворачивающихся деталей, так как результат может быть получен только в равновесном состоянии. Это единственный из вариантов решения, использующий в своей основе линейные уравнения и не предполагающий итерационных методов. При попытке смоделировать деформации, находящиеся за пределом пропорциональности материалов, программа либо запрещает расчет, либо продолжает считать деформации по закону Гука с получением неправдоподобных результатов.

– large displacement static

Значительные перемещения без учета времени. В механической системе также

не должно быть свободно перемещающихся или поворачивающихся деталей. Деформации могут быть значительными по величине. Хотя алгоритм называется "статическим", может быть использован фактор времени для моделирования пластических деформаций.

– small displacement transient

В отличие от предыдущих вариантов добавляется полноценный параметр времени. Для каждого узла, в дополнение к остальным параметрам, рассчитываются скорость и ускорение в направлении трех осей, а также угловая скорость и угловое ускорение вокруг трех осей. Все перечисленное значительно усложняет и замедляет вычисление.

– large displacement transient

Полное динамическое взаимодействие тел с возможностью больших деформаций. Самый сложный вариант, требующий наибольшего количества ресурсов аппаратуры и времени.

При наших исследованиях мы были вынуждены использовать режим large displacement transient, так как при моделировании рассматриваемого нами процесса возможны большие деформации материала, слой материала фиксируется только

ВЫВОДЫ

валками, кроме того, напряженно-деформированное состояние в обрабатываемом материале меняется во времени.

На рис. 3 (напряженно-деформированное состояние в композитном слое) приведена одна из диаграмм, полученная в результате расчета нашей модели.

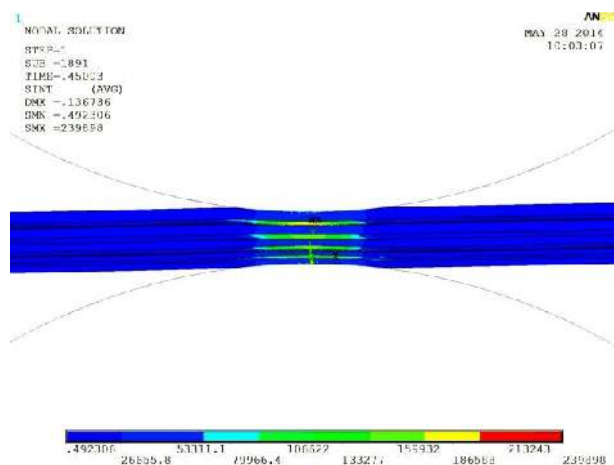


Рис. 3

При прохождении волокна между валками при определенном усилии прижатия слои материала деформируются по-разному, в зависимости от их упругих свойств и от расположения внутри материала. При возрастании скорости вращения валов увеличиваются значения деформаций различных слоев материала, наибольшие деформации наблюдаются в слоях "волокон", причем с ростом скорости транспортирования материала растут и деформации. Очаг напряжений в направлении продольной оси расположен между валками на линии шириной, примерно равной ширине сектора вдавливания валка в материал, что подтверждает выводы, сделанные в работе [10]. При различных скоростях линия концентрации напряжений искажается – смещается у более быстро вращающегося валка в сторону прокатки.

Наибольших значений напряжения достигают в более жестких слоях "матрицы", причем с ростом скорости транспортирования материала происходит рост напряжений в слоях "матрицы".

1. Представлена общая методология разработки модели, описывающей взаимодействие композитного материала с валковой парой.

2. Предложены пути повышения производительности расчета за счет оптимизации сетки конечных элементов и контактных пар в модели

3. Разработанная модель позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние в прокатываемом слое, в результате которого стало ясно, что напряжения в слоях матрицы выше, чем в волокнах, что может привести и приводит к локальным разрушениям склеивающей волокна матрицы в реальном технологическом процессе

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение. – М., 1989.

2. Каравайков В.М., Киселев Н.В., Шипов А.В. Моделирование процессов тепломассообмена в водогрейном котле с экранно-конвективными секциями // Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2011, №1.

3. Шадрин Н.Н. Сизов Д.В. Моделирование процесса прокатки сплошной круглой заготовки в двухвалковом стане винтовой прокатки методом конечных элементов // Сб. ст. 3-й Всероссийск. студ. научн.-техн. конф.: Студенческая научная весна 2010: Машиностроительные технологии. – М., 2010.

4. Пустовой А.В., Корабельников А.Р. Модель взаимодействия валковой пары с многослойным композитным материалом в устройстве подготовки волокна к утонению и очистке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №3.

5. Корабельников А.Р., Пустовой А.В., Шутова А.Г. Анализ напряженно-деформированного состояния многослойного композиционного материала при его обработке в валковой паре // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №2.

6. Киселева М.В. Моделирование гибкости и прочности льняного волокна для прогнозирования его прядильной способности: Дис....канд техн. наук. – Кострома, 2002.

7. Вихарев С.Н., Корабельников А.Р., Корабельников Р.В. Особенности подготовки короткоштапельного льняного волокна к утонению и очистке от сорных примесей по новому способу // Вестник КГТУ. – 2007, №15.

8. Громова Е.И., Пустовой А.В., Шутова А.Г. Исследование распределения касательных напря-

жений внутри многослойного композитного материала при его обработке в валках, вращающихся с различными скоростями // Вестник КГТУ. – 2013, №2.

9. *Корабельников А.Р., Корабельников Р.В.* Повышение эффективности подготовки короткоштапельного льняного волокна к утонению и очистке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №7.

10. *Кузнецов Г.К.* Исследование и методика проектирования валковых отжимных устройств текстильных машин: Дис....докт. техн. наук. – Кострома, 1970.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 30.09.14.
