

УДК 677.051

**АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА
ПРИ ЕГО ОБРАБОТКЕ В ВАЛКОВОЙ ПАРЕ**

**ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE
OF LAMINATED COMPOSITE MATERIAL DURING PROCESSING
IN ROLLER PAIR, WITH DIFFERENT RATIOS
OF THE ANGULAR VELOCITIES OF SHAFTS**

А.В. ПУСТОВОЙ, А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ, А.Г. ШУТОВА
A.V. PUSTOVOY, A.R. KORABELNIKOV, A.G. SHUTOVA

(Костромской государственный технологический университет)
(Kostroma State Technological University)
E-mail: tmm@kstu.edu.ru

Разработана модель валковой пары и ее взаимодействия со слоистым композитным материалом методом конечных элементов с использованием пакета ANSYS. Проанализировано напряженно-деформированное состояние в жале валковой пары. Получены картины распределения напряжений и деформаций в слоистом композитном материале при неравных скоростях валов.

A model of the roll pair and its interaction with the layered composite material by finite element method using the package ANSYS. Analyzed the stress strain behavior in sting roll pair. Patterns of distribution of stresses and strains in the layered composite material with unequal speeds of shafts.

Ключевые слова: модель валковой пары, слоистый композит, метод конечных элементов, обработка льна.

Keywords: roll pair model, laminated composite, finite-element method, flax processing.

Прокатка материала в валках применяется во многих процессах текстильной и легкой промышленности: например, обработка льняного волокна, обработка кожи, отделка тканей и т.д.

В работе [1] предлагается технологическая линия и ряд устройств для получения котонизированного льняного волокна. Линия включает в себя устройство для подготовки ленты льняного волокна к штапелированию, машину для штапелирования методом контролируемого разрыва и ряд очистителей. Устройство для подготовки ленты льняного волокна к штапелированию предназначено для уменьшения сечения ленты и предварительного разрушения связей между волокнами в технических комплексах льна. Оно представляет собой пару давящих валков с регулируемой нагрузкой и регулируемой скоростью вращения, причем скорость вращения нижнего и верхнего валков может быть различной [2]. Лента из короткого волокна, обрабатываемая в этом устройстве, имеет сложную структуру и представляет собой совокупность частично параллелизованных технических комплексов льняного волокна и отдельных элементарных волокон, которые могут быть соединены друг с другом на некотором протяжении природными "склеивающими" веществами. Элементарные волокна, объединенные в комплексы, также соединены между собой "склеивающей" их матрицей естественного происхождения.

При обработке ленты в предлагаемом устройстве отмечается снижение прочности ленты, а также отмечается повышение качественных показателей получаемого котонизированного льняного волокна [3].

В работе [4] приводится описание процесса обработки ленты, основанное на результатах исследований [5], и обосновывается применение данного метода. Однако не описывается картина напряженно-деформированного состояния внутри обрабатываемого продукта, что не позволяет адекватно оценить технологические и конструктивные параметры устройства.

Разработка аналитических зависимостей, описывающих этот процесс и напряженно-деформированное состояние, очень затруднительна, что связано с неоднородностью и анизотропностью обрабатываемого продукта и сложностью аналитического описания процесса. Для моделирования взаимодействия рабочих органов машин с льняным волокном необходимо применение современных численных методов [6]. Для этого нами использовался программный пакет ANSYS.

Нами предложена модель взаимодействия валковой пары 1 с многослойным материалом 2 (рис. 1).

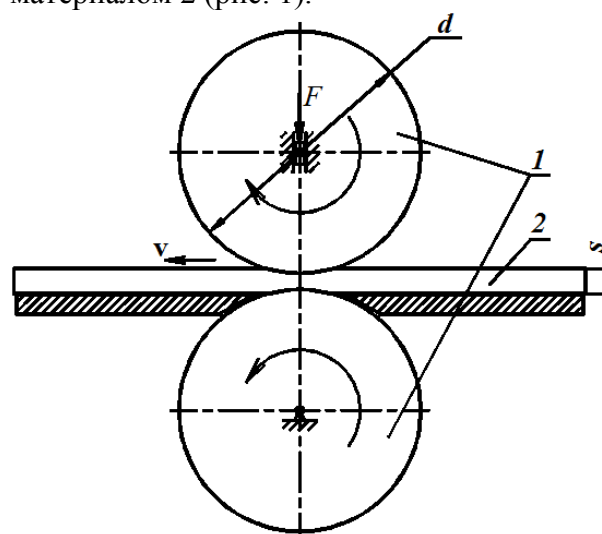


Рис. 1

Геометрическая модель представляет собой два валка и слой материала, зажатый между ними. Верхний и нижний вал могут вращаться с различной скоростью. Ось нижнего вала неподвижна, а ось верхнего вала может перемещаться в вертикальном направлении. К верхнему валу прикладывается нагрузка.

В работах [7], [9] нами была представлена модель взаимодействия валков с материалом при условии вращения верхнего и нижнего валков с одинаковой скоростью. В данном исследовании предложена модель, в которой угловая скорость нижнего вала постоянна для всех конфигураций – 70 рад/с, а угловая скорость верхнего вала в различных конфигурациях модели может принимать значения от 70 до 140 рад/с.

В модели имеются некоторые допущения. Лента из короткого льняного волокна рассматривается как многослойный композиционный материал – массив параллельных волокон, разделенных склеивающей матрицей (рис. 2 – диаграммы распределения напряжений в модели при различном соотношении скоростей вращения валков валковой пары: а) – распределение эквивалентных напряжений по Мизесу при одинаковых угловых скоростях вращения валков (70 рад/с); б) – распределение эквивалентных напряжений по Мизесу при угловой скорости верхнего вала – 140 рад/с; в) – распределение касательных напряжений при одинаковой угловой скорости вращения валков (70 рад/с); г) – распределение касательных напряжений при угловой скорости верхнего вала – 140 рад/с.).

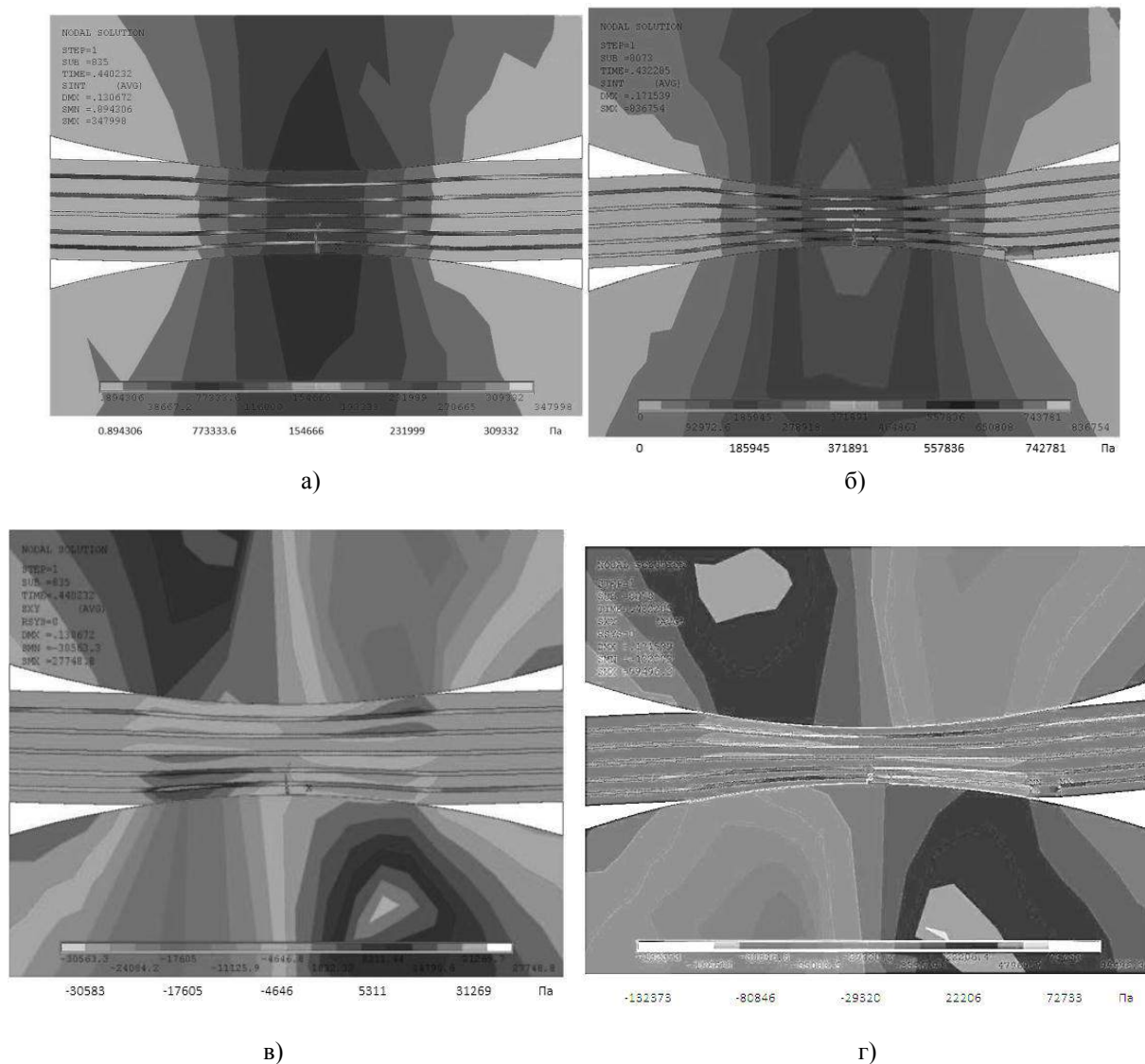


Рис. 2

Такая модель обрабатываемого материала оправдана поиском разумного компромисса между соответствием свойств модели и реального объекта и аппаратными возможностями доступной вычислительной техники. Слоистый материал моделировался как единое тело, состоящее из нескольких чередующихся слоев материалов, имеющих различные физико-механические свойства и общие границы. Это позволяет не использовать контактные пары и систему предварительного нагружения в месте сопряжения двух соседних слоев, что значительно ускоряет решение и делает модель материала более приближенной к реальной. Конечные элементы, моделирующие волокна и матрицу, имеют только упругие свойства, различные плотности и модули упругости. Значение модулей упругости $2 \cdot 10^7$ Па для волокон и $2 \cdot 10^8$ Па для матрицы [8]. В связи с принятым нами допущением об однородности слоя волокна и с целью сокращения процессорного времени решения модель выполнена плоской. Между валами и слоем материала установлен механизм "контактной пары" вида "линия-линия", коэффициент трения принят равным 0,3. Уплотнение массива конечных элементов присутствует на ограниченном участке слоя, где и проводится весь анализ. На остальной части слоя сетка конечных элементов максимально разреженная. Принятые допущения позволяют оценить распределение деформаций и напряжений между слоями материала и их зависимость от параметров устройства.

На рис. 2, 3, 4 (рис. 3 – графики зависимости состояния прокатываемого материала от скорости вращения валов валковой пары: а) – график зависимости эквивалентных напряжений в слое материала (Па); от угловой скорости верхнего вала (рад/с); б) – график зависимости касательных напряжений (Па); от угловой скорости верхнего вала (рад/с)) Т; рис. 4 – диаграммы распределения деформаций в модели при различных скоростях вращения валов валковой пары: 4 – а) – распределение относительных деформаций по оси у при одинаковых угловых скоростях

вращения валков (70 рад/с), б) – распределение относительных деформаций по оси у при угловой скорости верхнего вала – 140 рад/с, в) – распределение относительных деформаций по оси х при одинаковых угловых скоростях вращения валков (70 рад/с), г) – распределение относительных деформаций по оси х при угловой скорости верхнего вала – 140 рад/с) приведены результаты расчетов предлагаемой нами модели при различных соотношениях в угловых скоростях вращения валов.

Из представленных диаграмм напряжений видно, что разница в скоростях движения валов приводит к изменению картины распределения эквивалентных напряжений. Расширяются пятно контакта валов с материалом и зона максимальных напряжений. Величина максимальных эквивалентных напряжений растет. Зона максимальных напряжений находится внутри матрицы, что связано с тем, что она имеет более высокий модуль упругости.

Анализ касательных напряжений внутри слоя показывает, что в случае применения валков, вращающихся с различной угловой скоростью, значения касательных напряжений увеличиваются. Они концентрируются в матрице и на границах матрицы и волокон. Кроме того, зона максимальных касательных напряжений смещается к поверхности валков, что подтверждает выводы, сделанные в работе [4]. При движении материала через валки касательные напряжения в слоях материала знакопеременны, и соответственно амплитуда этих колебаний выше в случае применения валков, вращающихся с различной скоростью.

Зависимости напряжений от угловой скорости вращения верхнего вала, представленные на рис. 3, были получены как результат моделирования по предлагаемой нами модели – средние значения напряжений по результатам 10 численных опытов.

Из графиков можно сделать выводы о том, что применение валков, вращающихся с различной скоростью, позволяет создать более интенсивное напряженно-деформированное состояние в слоистом композитном материале.

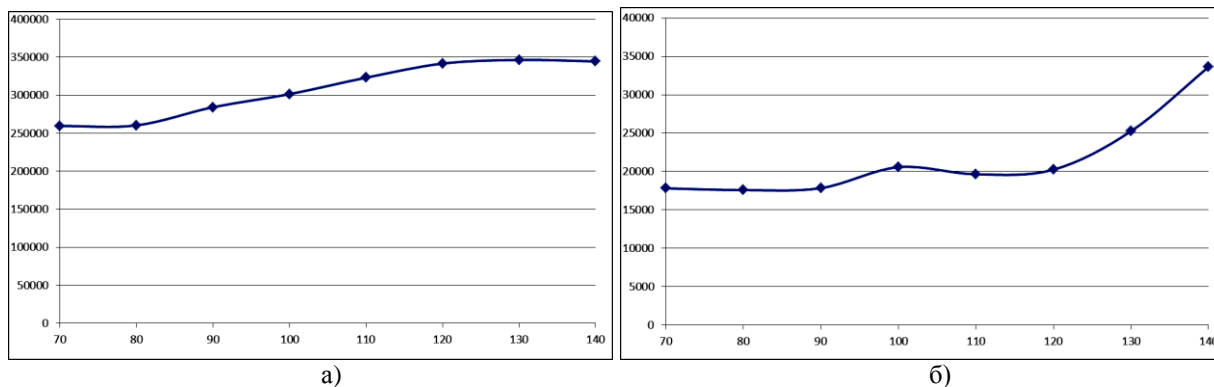


Рис. 3

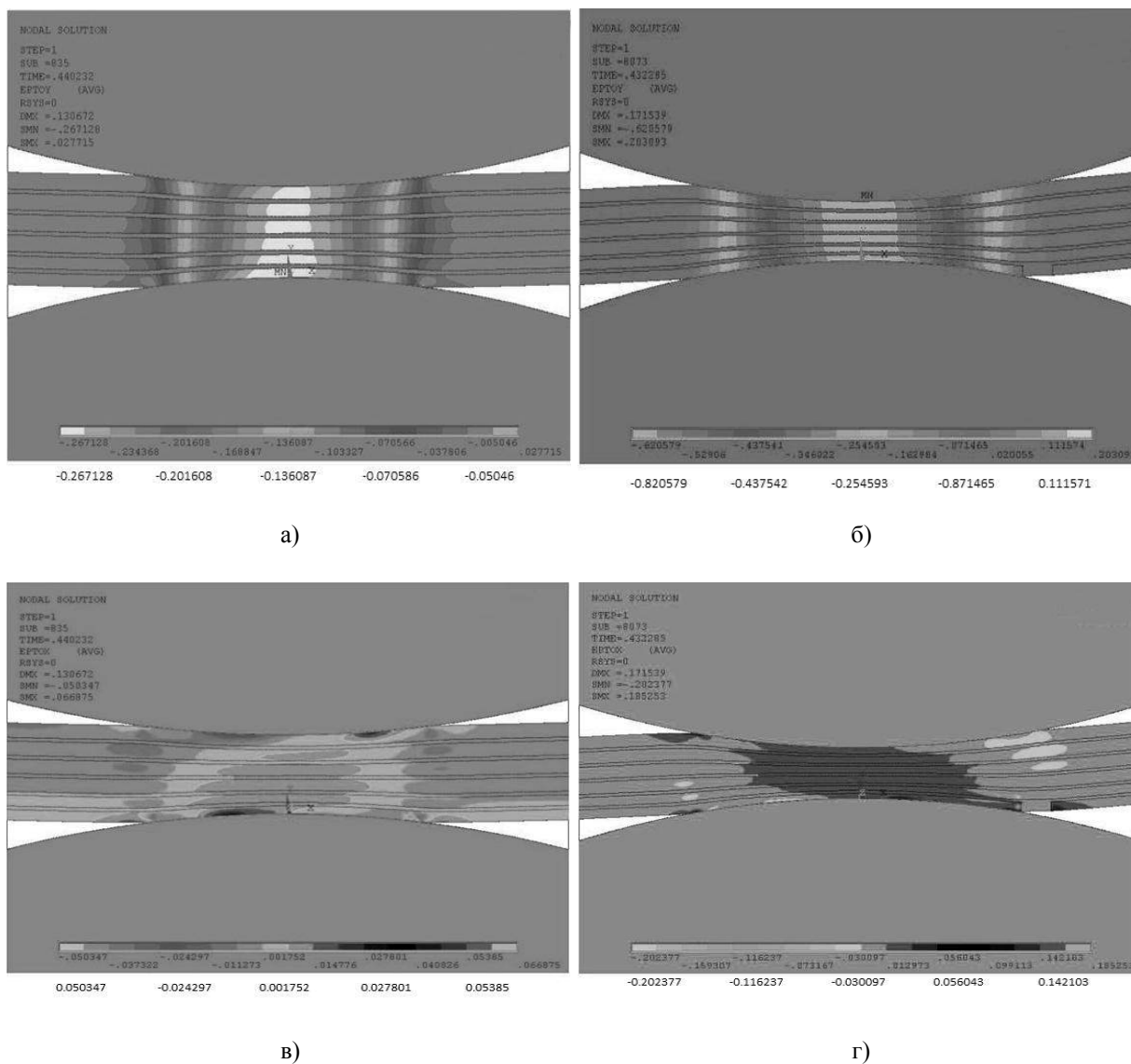


Рис. 4

Анализируя деформации по различным осям при различных соотношениях в скоростях валов, можно сказать, что деформации по вертикальной оси Y распределяются более равномерно. Величина относи-

тельных деформаций значительно возрастает с увеличением скорости верхнего вала. Деформации по оси Y (вертикальной) концентрируются в волокнах, а по оси X

(горизонтальной) распределяются и в матрице и в волокнах.

Переноса выводы, сделанные по результатам анализа напряженно-деформированного состояния в слоистом композитном материале, на рассматриваемый технологический процесс, можно сказать, что применение устройства для подготовки ленты короткого волокна к котонизации и очистке позволит интенсифицировать разрушение связей между волокнами и склеивающей их матрицей, волокнами и сорными примесями.

В силу обобщенной постановки задачи, предлагаемая нами модель может быть использована при анализе обработки в валках многослойных композитных материалов различного происхождения.

Дальнейшее совершенствование модели будет развиваться по пути постепенного приближения геометрических, структурных и физико-механических свойств модели к свойствам обрабатываемого продукта для изучения механизма разрушения связей между волокнами льна.

ВЫВОДЫ

1. Разработана модель, описывающая процессы в многослойном композитном материале при прокатке его в валковой паре, позволяющая определить параметры напряженно-деформированного состояния в любой точке материала и в любой момент времени протекания процесса. Модель может быть использована для изучения обработки в валках материалов слоистой структуры.

2. Применение разработанной модели позволило установить, что рост разницы скорости вращения валков приводит к росту напряжений и деформаций в слоях материала. Используя данные выводы в предлагаемом нами устройстве для подготовки волокна к котонизации и очистке, можно сказать, что применение валков с различной скоростью вращения приведет к нарушению связей между волокнами в комплексах льняного волокна.

3. Определены пути дальнейшего развития исследований, которые должны быть направлены на изучение влияния параметров устройств на напряженно-деформированное состояние в слоистом материале и на разработку модели волокнистого материала, более приближенную к реальному материалу по физико-механическим, структурным и геометрическим свойствам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корабельников А.Р.* Развитие теории и технологии получения короткоштапельного льняного волокна. – Кострома, 2005.

2. Патент RU № 2347863 Способ очистки волокна / *Корабельников А.Р., Вихарев С.Н., Соркин А.П., Корабельников Р.В., Щербинин С.А.*

3. *Корабельников Р.В., Корабельников А.Р., Лебедев Д.А., Чигасов А.Е.* Особенности воздействия на сорные частицы в волокнистой массе при обработке ее в вальцах // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №6.

4. *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 Костромского госуд. технолог. ун-та. – 2007, №15. С.24...26.

5. *Бурнашев Р.З.* Теоретические основы очистки хлопка-сырца: Дис...докт. техн. наук. – Ташкент 1983.

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

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

8. *Киселев М.В.* Моделирование строения льняного чесаного волокна и процесса дробления его комплексов: Дис...докт. техн. наук. – Кострома, 2009.

9. *Адамян А.А., Корабельников А.Р., Пустовой А.В.* Имитационная модель обработки слоя в валках // Научный вестник Костромского госуд. технолог. ун-та. – 2011, №2.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 17.01.14.