

УДК 677.021

**ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОРНЫЕ ЧАСТИЦЫ В
ВОЛОКНИСТОЙ МАССЕ
ПРИ ОБРАБОТКЕ ЕЕ В ВАЛЬЦАХ ***

Р.В. КОРАБЕЛЬНИКОВ, А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ, Д.А. ЛЕБЕДЕВ, А.Е. ЧИГАСОВ

(Костромской государственной технологической университет)

E-mail: tmm@kstu.edu.ru

В статье рассмотрены силы, действующие на сорную частицу в волокнистой среде при пропуске ее через вальцы, сжимающие холстик с определенной силой. Предложен метод определения напряжений внутри волокнистой массы при ее сжатии до состояния упругого тела.

The forces operating on a weedy particle in a pulp when casting it out through rollers compressing a canvas with a certain force are considered in the article. The method of the determination of pressure in a pulp at its shrinkage to the state of an elastic body is offered herein.

Ключевые слова: механика процесса, очистка волокна, миграция сора в волокнистой среде, волокноочистители, льняное волокно, хлопок.

Важность изучения процесса перемещения сорных примесей или комплексов внутри волокнистой массы определяется следующими моментами:

— перемещение (миграция) сора под действием среды, конечно, не предполагает, что частица сможет выделиться из волокнистой массы, как это происходит в сыпучей среде, но зато под действием сил

* Работа выполнена при поддержке гранта Федерального агентства по образованию РФ в рамках реализации целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009 – 2010 гг.) по разделу 2.1.2.

со стороны среды могут быть ослаблены связи сора или комплексов волокон с окружающими слоями и тем самым облегчить выделение частиц и дробление комплексов при разрезании слоев. Вполне очевидно следующее: для того чтобы нарушились связи частицы с волокном, необходимо, чтобы воздействие среды на частицу было равно или превосходило значения этих связей.

Анализируя многочисленные процессы по очистке волокна от сора, можно отметить, что выполнение этих условий чаще всего может осуществляться при следующих операциях:

- при значительном сжатии и сдвиге слоев волокна, например, при обработке давящими вальцами;
- при разрезании разрыхляемого потока волокна;
- при обработке волокон в зажатом состоянии (с питающим столиком).

Разработанный в КГТУ новый способ очистки волокна [1] предусматривает сжатие слоев волокна и их относительное смещение с последующим протрепыванием рабочим органом. Для этого разработано специальное устройство, в котором волокно в виде холстика подается к давящим вальцам, прижатым друг к другу и вращающимся навстречу друг другу с разными линейными скоростями. Давильные вальцы сжимают слои волокна и смещают их относительно друг друга, вызывая в них высокие напряжения, что приводит к ослаблению связей волокна с сорными частицами и комплексами и улучшает их выделение или разрушение при последующем протрепывании бородки волокна.

Ранее нами рассмотрена методика определения напряжений в слоях волокон при их сжатии от действия нормальной и касательной нагрузки [2]. С учетом наших разработок по изучению перемещений сорных примесей внутри волокнистой массы ("миграции сора") [3], [4] рассмотрим особенности воздействия на комплексы и сорные частицы применительно к описываемой схеме, то есть при обработке холстика волокон в давящих вальцах.

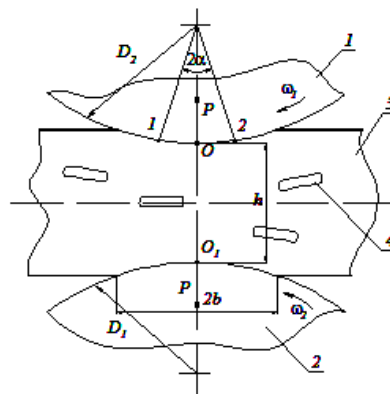


Рис. 1

На рис. 1 представлена схема взаимодействия вальцов с холстиком волокна, содержащим сорные частицы или комплексы: 1 – верхний и нижний валки; 3 – слой волокна; 4 – сорная частица. На рис. 1 показано: вальцы диаметрами D_1 и D_2 вращаются навстречу друг другу с угловыми скоростями ω_1 и ω_2 , а между ними пропускается слой волокнистого материала, который содержит сорные частицы и сжимается силой P .

Выделим участок в зоне контакта верхнего вальца с волокном (1, 2) и будем считать его условно прямолинейным. Условно также заменим действие верхнего вальца на слой волокна сосредоточенными силами P и T , приложенными к границе слоя (рис. 2).

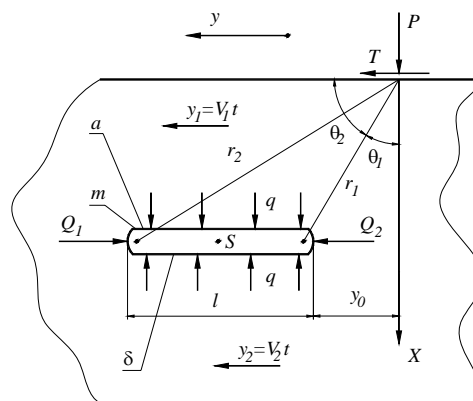


Рис. 2

При этом распределение нагрузки по оси oz (перпендикулярно чертежу) будем считать равномерным и постоянным, и рассуждения будем проводить для слоя шириной, равняющейся единице длины.

Предположим также, что материал между вальцами сжимается таким образом, что масса волокна может считаться однородным упругим телом.

На расчетной схеме (рис. 2) показана произвольно взятая частица в волокнистой массе. Частица массой "m" будет испытывать со стороны верхнего и нижнего слоев давление q на площади F, кроме того, со стороны волокнистой массы вдоль оси оу и в противоположном направлении будут действовать силы Q₁ и Q₂. Если силу Q₂ со стороны слоя волокон считать движущей, то силу Q₁ – силой сопротивления со стороны волокнистых связей. При смещении верхнего слоя между поверхностью "а" и "б" возникают силы трения. Полагаем, что коэффициент трения по оси оу – μ₁, а в обратном направлении – μ₂. При этом считаем μ₁ > μ₂, что может быть вызвано природными свойствами частицы сора.

Уравнения равновесия сил в проекциях на ось оу можно записать так:

$$\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2 + \bar{T}_1 + \bar{T}_2 + m\ddot{y}_s = 0, \quad (1)$$

где m – масса частицы; \ddot{y}_s – ускорение сорной частицы; T₁ и T₂ – максимальные силы трения, действующие на поверхности "а" и "б" частицы.

Силы T₁ и T₂ могут иметь свои конкретные законы изменения и меняться как по величине, так и по направлению. Максимальные значения могут быть определены по следующей формуле:

$$T_{1,2} = \mu_{1,2} \int_F q dF = \mu_{1,2} N, \quad (2)$$

где N – суммарное давление на поверхность частицы.

Соотношение сил, действующих на частицу, во многом определяет условия ее перемещения. Нас интересуют условия, при которых сила давления волокнистой среды со стороны вальцов превзойдет силы сопротивления волокнистых связей. Это обеспечит разрыв или ослабление последних.

Реализация такого случая может быть осуществлена при соотношении сил, действующих на сорную частицу, показанных на рис. 3.

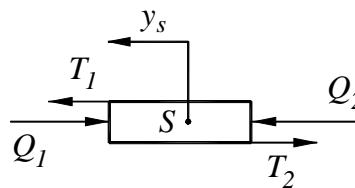


Рис. 3

Уравнение равновесия сил при этом будет:

$$Q_2 - Q_1 + T_1 - T_2 + m\ddot{y}_s = 0, \quad (3)$$

или

$$m\ddot{y}_s = (Q_2 - Q_1) + (\mu_1 - \mu_2)N. \quad (4)$$

Проинтегрируем дважды (4) при начальных условиях (при t=0: y_s=0 и $\dot{y}_s = 0$, то есть подразумеваем, что начальное смещение частицы относительно слоя и относительная скорость равны нулю). Тогда скорость частицы определится как

$$\dot{y}_s = \frac{(Q_2 - Q_1) + (\mu_1 - \mu_2)N}{m} t, \quad (5)$$

а перемещение будет равно:

$$y_s = \frac{(Q_2 - Q_1) + (\mu_1 - \mu_2)N}{2m} t^2, \quad (6)$$

Очевидно, что перемещение частицы относительно нижнего слоя влево будет при условии

$$Q_2 + \mu_1 N \geq Q_1 + \mu_2 N. \quad (7)$$

Отсюда

$$Q_2 = Q_1 + (\mu_2 - \mu_1)N. \quad (8)$$

Если знать напряжение в слое [2], то силу Q_2 можно определить следующим образом:

$$Q_2 = \sigma_y S, \quad (9)$$

где σ_y – напряжение в волокнистом слое в окрестностях торца сорной частицы в направлении оси oy ; S – площадь торцевой поверхности частицы.

Учитывая (9), определим требуемые напряжения в волокне со стороны валков:

$$\sigma_y = \frac{Q_1 + (\mu_2 - \mu_1)N}{S}. \quad (10)$$

Выражение при σ_y от действия нормальной составляющей силы согласно [2], [5] будет:

$$\sigma_y = -\frac{2P \sin^2 \theta_1 \cos \theta_1}{\pi r_1}, \quad (11)$$

а от силы T :

$$\sigma_y = -\frac{2T \cos^3 \theta_2}{\pi r_1}. \quad (12)$$

Анализируя (11) и (12), можно отметить, что чем ближе частица находится к сечению по оси ox , тем меньше составляющая напряжения σ_y , выталкивающего частицу. Это говорит о том, что эффект нарушения связей частицы с другими слоями может происходить после прохождения частицей плоскости, соединяющей центры валцов. В рассматриваемом сечении наибольшего значения достигает напряжение σ_x (вдоль оси x), так

$$\sigma_x = -\frac{2P \cos^3 \theta_1}{\pi r}. \quad (13)$$

Эти напряжения также необходимо знать, так как под их действием будет происходить дробление комплексов, что весьма важно в процессе очистки и котонизации льняного волокна. Напряжение в слое

сжимаемого волокна наибольшего значения достигает вблизи зоны контакта с вальцами. По мере удаления сечения по глубине слоя эти напряжения уменьшаются. Согласно приведенным выше аналитическим выражениям, следует отметить, что напряжение в точке приложения нагрузки теоретически велико. В действительности нагрузка распределяется по малой площадке и происходит пластическое течение [5], поэтому приведенные выражения надо применять при изучении напряжения в окрестности приложения сосредоточенной силы.

Так как силы P и T со стороны верхнего валка действуют одновременно, то можно записать выражение для определения напряжения σ_y :

$$\sigma_y = -\left(\frac{2P \sin^2 \theta_1 \cos \theta_1}{\pi r_1} + \frac{2T \cos^3 \theta_2}{\pi r_1} \right). \quad (14)$$

В (14) силу T можно выразить следующим образом:

$$T = \mu^* P, \quad (15)$$

где μ^* – коэффициент трения вальца о волокнистый материал.

Величину Q_1 для выражения (8) следует определять специальным экспериментом или расчетом. Для создания необходимого напряженного состояния вальцы должны сжимать волокно силой (на единице длины вальца по оси oz):

$$P = -\frac{\pi r_1 \sigma_y}{2(\sin^2 \theta_1 \cos \theta_1 + \mu^* \cos^3 \theta_2)}, \quad (16)$$

а полная сила прижатия вальца будет:

$$P_z = LP, \quad (17)$$

где L – длина вальца.

Из анализа приведенных выше выражений следует также, что с увеличением расстояния от точки приложения силы напряжения существенно уменьшаются. Из теории упругости [5] известно, что точка с

максимальным касательным напряжением при контакте двух соприкасающихся тел (без учета трения между ними) лежит на глубине $X=0,78b$, и его величина при отсутствии трения достигает $0,3q_0$ (где q_0 – максимальное давление в зоне контакта). Это говорит о том, что толщина обрабатываемого слоя h не должна превышать, на наш взгляд, половины пятна контакта валков с обрабатываемым материалом. Величина же b зависит от диаметра валков и от упругих свойств обрабатываемого слоя.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрение взаимодействия частицы с волокнистой средой при обработке в вальцах позволило определить основные условия возможного ослабления связей частицы с волокном.

2. Разработаны рекомендации по особенности выбора параметров вальцов

(усилия зажатия волокна, толщины обрабатываемого материала и др.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ очистки волокна. Патент на изобретение № 2347863 Ru (Авторы: Корабельников А.Р. и др.). Опубликовано: 27.09.2009, Бюл. №6.

2. Вихарев С.Н., Корабельников А.Р., Корабельников Р.В. //Вестник КГТУ. – 2007, №15. С.24...26.

3. Корабельников Р.В., Корабельников А.Р., Лебедев Д.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 2.

4. Корабельников Р.В., Корабельников А.Р., Лебедев Д.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 3.

5. Безухов Н.И., Лужин О.В. Приложение методов теории упругости и пластичности к решению инженерных задач. – М.: Высшая школа, 1974.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 20.05.10.