

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕХАНИЗМА ВЫДЕЛЕНИЯ СОРНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА ПРИ СДВИГАНИИ СЛОЕВ (РАЗРЕЖЕНИИ)*

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

(Костромской государственной технологической университет)

E-mail: tmm@kstu.edu.ru

В статье представлен анализ механики выделения сорных примесей при разрежении массы волокна вследствие сдвига волокнистых слоев. Материалы статьи будут полезны при выборе кинематических параметров очистительных машин.

The analysis of mechanics of the trash allocation at the depression of a fiber mass owing to the moving of fibrous layers is presented in the article. Article materials will be useful when choosing kinematic parameters of recleaners.

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

В волокнистом материале, например, в хлопковом или льняном волокне, содержатся минеральные и органические примеси в виде отдельных частиц, которые имеют различные геометрические и весовые характеристики, а также разную связь с волокнистым материалом. Обычно, эти сорные примеси распределены достаточно равномерно по всему объему. Часть примесей, расположенных на открытой поверхности образца волокнистого материала, может быть достаточно легко удалена при ударных воздействиях и встряхивании [1]. Основная часть сора, расположенного внутри объема образца, окружена многослойной волокнистой рубашкой [2]. Для удаления этих примесей простого встряхивания недостаточно. При механической обработке волокнистого материала требуются специальные операции, например, сдвигание слоев, разрежение и обработка в зажатом состоянии [3].

Ранее нами рассмотрен механизм выделения сорных примесей из волокна при его разрежении [4], [5]. В свете развития теории воздействия на сорные частицы,

находящиеся внутри волокнистого материала (теории «миграции») [6], рассмотрим эту задачу с целью определения параметров процесса для возможной реализации в очистительных машинах.

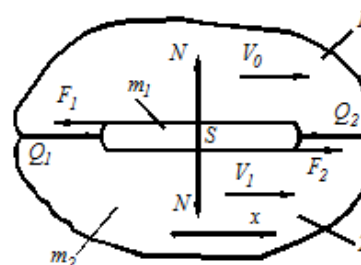


Рис. 1

На рис. 1 показана схема взаимодействия волокнистого материала с частицей, находящейся на границе смещающихся слоев. Представим себе, что волокнистый поток движется между питающими валиками со скоростью V_0 . Нижний слой 2 захватывается рабочим органом (пильчатым, игольчатым и т.д.) и ему сообщается ско-

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

рость V_1 . При этом на частицу будут действовать силы: F_1 и F_2 – силы трения о верхний 1 и нижний 2 слой волокна; N – сила, сжимающая частицу; Q_1 и Q_2 – упругие силы, действующие на сорную частицу со стороны волокнистых слоев.

Для упрощения задачи примем следующие допущения:

- считаем силы трения F_1 и F_2 постоянными и коэффициент трения частицы о верхний слой меньшим, чем о нижний слой, то есть $\mu_2 > \mu_1$;

- примем, что слои волокна состоят из отдельных частиц с параметрами, близкими к длине волокон;

- коэффициенты жесткости волокнистого материала, взаимодействующего с частицей и с рабочим органом, считаем постоянными;

- демпфирующими свойствами пренебрегаем.

Рассмотрим схему разрезания волокнистого материала, изображенную на рис. 2 (схема взаимодействия волокна с рабочим органом: 1 – питающие валики; 2 – волокнистый материал; 3 – рабочий орган). Она приближена к рабочим органам очи-

стительной машины и аналогична схеме [1], [5]. На участке L происходит разрежение волокнистого материала, то есть сдвигание слоев. Величина L зависит от длины волокна перерабатываемого материала и других факторов.

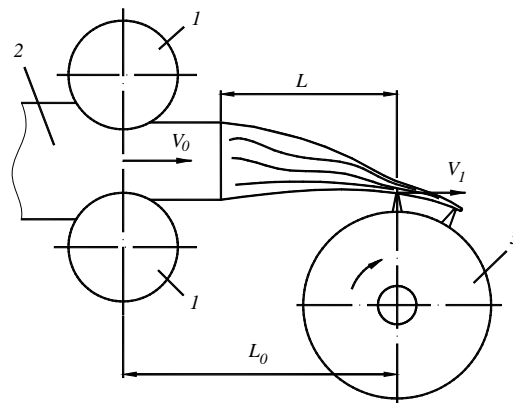
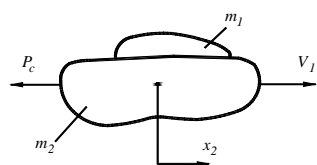
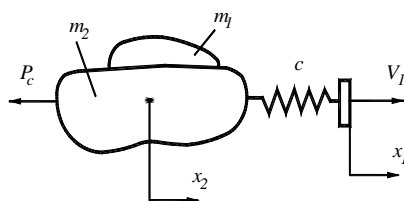


Рис. 2

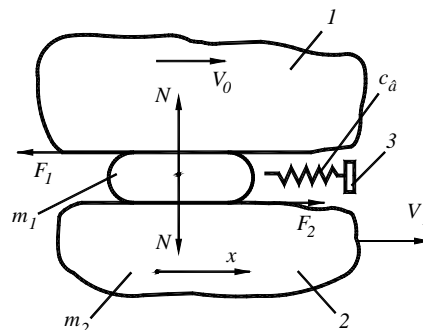
Для раскрытия физики процесса и оценки качественного и количественного влияния параметров разрезания рассмотрим следующие возможные варианты.



а)



б)



в)

Рис. 3

Первая схема (рис. 3-а): рабочий орган захватывает частицу волокнистого материала m_2 с сорной частицей m_1 и сообщает ей мгновенную скорость V_1 , что вызывает возникновение больших ускорений. Такие же ускорения будут действовать и на сорные частицы, расположенные на вновь образованной в результате разрезания открытой поверхности частицы.

Будем считать, что $(m_1 + m_2) = m$. Тогда дифференциальное уравнение движения частицы в момент разрезания можно записать как

$$\frac{md^2x_2}{dt^2} = -P_c, \quad (1)$$

где P_c – сила сопротивления отделения частицы волокна, или:

$$\frac{d^2x_2}{dt^2} = \frac{-P_c}{m}. \quad (2)$$

Запишем:

$$\frac{dx}{dt} = V, \quad \frac{d^2x_2}{dt^2} = \frac{dV}{dt},$$

тогда:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{-P_c}{m}. \quad (3)$$

Проинтегрировав (3), получим:

$$V = -\frac{P_c}{m}t + C. \quad (4)$$

Из начальных условий (при $t=0$: $V=V_0$) определим, что $C=V_0$.

Тогда:

$$V = V_0 - \frac{P_c}{m}t. \quad (5)$$

Проинтегрировав (5) и считая при этом, что $V = \frac{dx}{dt} = V_0 - \frac{P_c}{m}t$, получим

$$x = V_0t - \frac{P_c}{2m}t^2 + C_1.$$

Из начальных условий (при $t=0$: $x=0$) определим, что $C_1=0$.

Тогда:

$$x = V_0t - \frac{P_c}{2m}t^2. \quad (6)$$

Из выражения (5) определим продолжительность разгона частицы до скорости $V=V_1$, тогда получим:

$$t_p = \frac{(V_0 - V_1)m}{P_c}. \quad (7)$$

Для сорных частиц можно записать условие отделения:

$$m_1 a = m_1 \frac{d^2x_2}{dt^2} = m_1 \frac{V_0 - V_1}{t_p} \geq F_{\text{сц}}, \quad (8)$$

где $F_{\text{сц}}$ – сила сцепления сора с волокном.

И для выбора скоростей рабочих органов для разрезания можно найти:

$$\Delta V = V_0 - V_1 = \frac{F_{\text{сц}} t_p}{m_1}. \quad (9)$$

Вторая схема (рис. 3-б): рабочий орган захватывает частицу волокнистого материала через упругую связь с коэффициентом жесткости c . При составлении модели сделаем допущение: так как нас интересует нагружение в начальный период нагружения, то демпфирующими свойствами волокна пренебрегаем, а силу сопротивления будем считать постоянной.

Тогда запишем дифференциальное уравнение для движения упругой системы (причем считаем, что $(m_1 + m_2) = m$):

$$m \ddot{x}_2 = (x_1 - x_2)c - P_c. \quad (10)$$

Так как $x_1 = V_1 t$, то

$$m \ddot{x}_2 + c x_2 = c V_1 t - P_c. \quad (11)$$

Общее решение уравнения (11) будет:

$$x_2 = A \sin \omega_0 t + B \cos \omega_0 t + V_1 t - \frac{P_c}{c}. \quad (12)$$

Из начальных условий с учетом предварительной деформации упругого элемента [1] получим:

$$B = 0, \quad A = -\frac{1}{\omega_0}(V_1 - V_0). \quad (13)$$

Тогда:

$$x_2 = (V_1 t - \frac{P_c}{c}) - \frac{1}{\omega_0}(V_1 - V_0) \sin \omega_0 t, \quad (14)$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ – круговая частота свободных колебаний упругой системы.

Если ранее [1] нами изучался вопрос нагрузки на упругую связь частицы с рабочим органом при разрезании, то здесь нас интересуют условия отделения сорных частиц от волокнистой частицы в результате действия сил инерции. Это условие запишется так:

$$P_1^n \geq F_{\text{сц}}, \quad (15)$$

где $F_{\text{сц}}$ – сила сцепления сора с волокном.

Так как $P_1^n = a_{\text{max}} m_1$, то дважды продифференцировав (14), получим:

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} = \omega_0 (V_1 - V_0) \sin \omega_0 t, \quad (16)$$

а максимальное значение ускорения будет:

$$a_{\text{max}} = \frac{d^2 x_2}{dt^2} = \omega_0 (V_1 - V_0). \quad (17)$$

Тогда условие отделения сора можно записать следующим образом:

$$m_1 \omega_0 (V_1 - V_0) \geq F_{\text{сц}}. \quad (18)$$

Разность скоростей рабочих органов машины:

$$\Delta V = (V_1 - V_0) \geq \frac{F_{\text{сц}}}{m_1 \omega_0} = \frac{F_{\text{сц}}}{m_1} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{c}}. \quad (19)$$

Анализируя выражение (19), можно видеть, что в отличие от первого случая на нагружение при отделении сорных частиц влияет масса отделяемых волокнистых частиц и особенно упругие свойства волокна. Известно, что упругие свойства волокна (хлопка, льна) существенно зависят от влажности: чем менее влажный материал, тем выше упругие свойства. Этот момент весьма важен и является одной из практических рекомендаций по результатам теоретических исследований.

Третья схема (рис. 3-в): при сдвигании слоев 1 и 2 сорная частица массой m_1 находится между ними. На нее действуют силы согласно рис. 1. Изложенные выше допущения дополним следующим: при перемещении частицы с нижним слоем волокна наступает момент, когда частица упирается в какой-то выступ 3 с упругим элементом c_B [4].

Перемещение частицы с нижним слоем волокна до встречи ее с упругим упором будем считать первым этапом, который характеризуется условиями:

$$x \approx V_1 \text{ и } F_2 > F_1. \quad (20)$$

При встрече частицы m_1 с упором начнется второй этап, при котором движение продолжается со скоростью V_1 до момента t_1 , когда суммарная сила сопротивления достигает величины F_2 :

$$F_2 \geq F_1 + Q_2 = F_1 + c_B x_0, \quad (21)$$

где x_0 – деформация упругого упора, при которой общая сила сопротивления будет равна движущей силе F_2 .

Если считать, что $x_0 = (V_1 - V_0)t_1$, то время, при котором будет достигнуто положение неустойчивого равновесия и начнутся колебания частицы (автоколебания) [1] [4], можно определить так:

$$t_1 = \frac{F_2 - F_1}{c_B (V_1 - V_0)}. \quad (22)$$

Как отмечалось ранее [1] [4], автоколебательные процессы не рассматриваются из-за небольшой длительности процесса, определенной длиной волокнистых частиц.

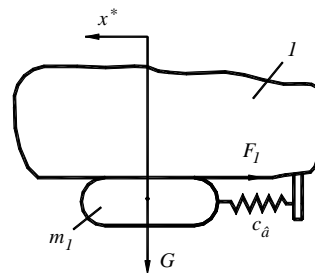


Рис. 4

Представляет интерес движение сорной частицы после потери контакта с нижним слоем. Для описания этого процесса составим новую динамическую модель (рис. 4 – расчетная схема), где x_* – координата перемещения частицы сора. Считая $F_1 = 0$, составим уравнение движения частицы m_1 под действием сжатого упругого упора.

Уравнение движения частицы:

$$m_1 \ddot{x}_* + c_B x_* = c_B x_0. \quad (23)$$

Решением дифференциального уравнения (23) будет:

$$x_* = A \sin \omega_0^* t + B \cos \omega_0^* t + \frac{c_B x_0}{m_1 \omega_0^{*2}}, \quad (24)$$

где $\omega_0^* = \sqrt{\frac{c_B}{m_1}}$ – круговая частота свободных колебаний частицы.

С учетом начальных условий получим:

$$x_* = -\frac{c_B x_0}{m_1 \omega_0^{*2}} \cos \omega_0^* t + \frac{c_B x_0}{m_1 \omega_0^{*2}}, \quad (25)$$

или

$$x_* = -x_0 \cos \omega_0^* t + x_0 = x_0 (1 - \cos \omega_0^* t). \quad (26)$$

Ускорение, действующее на частицу:

$$\ddot{x}_* = \omega_0^{*2} x_0 \cos \omega_0^* t. \quad (27)$$

Условие отделения частицы определится как:

$$m_1 \ddot{x}_{* \max} \geq F_{\text{сц}} \quad (28)$$

или

$$m_1 \omega_0^{*2} x_0 = c_B x_0 \geq F_{\text{сц}}. \quad (29)$$

Таким образом, эффективность соровыделения и по третьей схеме зависит от упругих свойств волокна в слоях.

С учетом выражения (21) можно записать:

$$c_B x_0 = F_2 - F_1, \quad (30)$$

то есть, чем больше разница между трением слоев о частицу сора, тем больше вероятность выделения сорной частицы из волокнистого материала при его разрезании. Разница фрикционных свойств сорной частицы, как отмечалось нами ранее, зависит как от природных свойств, так и от расположения волокон в слоях, их параллелизации.

ВЫВОДЫ

Рассмотрены основные теоретические аспекты механизма выделения сорных частиц из волокнистого материала при разрезании (сдвигании слоев), что позволяет:

– выбрать кинематические параметры очистительных машин при их проектировании;

– считать, что чем выше упругие свойства материала, тем эффективнее будет процесс выделения сорных частиц (это говорит о необходимости сушить волокно перед его очисткой).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корабельников Р.В., Корабельников А.Р.* Теория и практика совершенствования очистителей волокна: Монография. – Кострома: КГТУ, 2001.
2. *Корабельников Р.В., Корабельников А.Р.* Повышение способности волокнистого материала к очистке // Вестник КГТУ. – №2, 2000. С. 54...56.
3. *Корабельников Р.В., Корабельников А.Р., Лебедев Д.А.* Теоретические аспекты процесса очистки волокна при разрезании слоев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, № 6.
4. *Корабельников Р.В., Корабельников А.Р.* Об одной проблеме выделения крупных сорных примесей из волокнистого материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 3.
5. *Корабельников Р.В., Корабельников А.Р.* Об одной проблеме выделения сорных примесей из волокна при его разрезании // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 4.
6. *Корабельников Р.В., Корабельников А.Р., Лебедев Д.А.* Теоретические предпосылки изучения процесса перемещения (миграции) инородных примесей в волокнистой массе // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 2.

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