

Рис. 5. Схема нагружения (а) и напряженного состояния (б) в установившемся режиме.

Следовательно, элементарный объем под действием этих напряжений приобретет вытянутую форму, показанную на рис. 6.

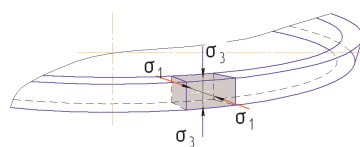


Рис. 6.

Таким образом, выполненные исследования способствуют разработке новых технологических процессов изготовления изделий их композиционных, дисперсно и нанопропроченных порошковых материалов сложной формы [6].

Литература:

1. **Ложечников Е.Б.** Прокатка в порошковой металлургии. М.: Металлургия, 1987. 185 с.

2. **Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.** Порошковая металлургия М.: Металлургия, 1980. 496 с.
 3. **Соколов В.О., Миронов В.А.** Использование центробежных сил в порошковой металлургии. Рига: ЛатНИИТИ, 1982. 44 с.
 4. **Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Петров Н.П.** Организация инструментального хозяйства при обработке композиционных материалов // СТИН. 2010. № 11. С. 2-4.
 5. **Петров Н.П., Янюшкин А.С., Мразов Ю.Г., Петров Е.Г., Анаскин И.Е.** Устройство для центробежного формования изделий из порошковых материалов: пат. 2457922 Рос. Федерация. № 2011104554/02; заявл. 08.02.11; опубл. 10.08.12, Бюл. № 23. 4 с.
 6. Янюшкин А.С., Лосев А.Б. Обрабатываемость металлов и их сплавов // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2006. Т.2. С. 388.
 6. Рычков Д.А., Янюшкин А.С. Лобанов Д.В., Базаркина В.В. Совершенствование технологии формообразования высокопрочных стекловолоконистых композиционных материалов на полимерной основе // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. Материаловедение. 2012. № 3 (56). С.150-153.

Литература:

5. **Ложечников Е.Б.** Прокатка в порошковой металлургии. М.: Металлургия, 1987. 185 с.
 6. **Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.** Порошковая металлургия М.: Металлургия, 1980. 496 с.
 7. **Соколов В.О., Миронов В.А.** Использование центробежных сил в порошковой металлургии. Рига: ЛатНИИТИ, 1982. 44 с.
 8. **Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Петров Н.П.** Организация инструментального хозяйства при обработке композиционных материалов // СТИН. 2010. № 11. С. 2-4.
 5. **Петров Н.П., Янюшкин А.С., Мразов Ю.Г., Петров Е.Г., Анаскин И.Е.** Устройство для центробежного формования изделий из порошковых материалов: пат. 2457922 Рос. Федерация. № 2011104554/02; заявл. 08.02.11; опубл. 10.08.12, Бюл. № 23. 4 с.
 6. Янюшкин А.С., Лосев А.Б. Обрабатываемость металлов и их сплавов // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2006. Т.2. С. 388.
 6. Рычков Д.А., Янюшкин А.С. Лобанов Д.В., Базаркина В.В. Совершенствование технологии формообразования высокопрочных стекловолоконистых композиционных материалов на полимерной основе // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. Материаловедение. 2012. № 3 (56). С.150-153.

УДК 674.02

Некоторые аспекты энергоёмкости процесса переработки древесной коры

Е.В. Ефимова¹, А.Р. Бирман¹, В.В. Швецова¹

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: tlzp@inbox.ru
 Статья поступила 19.09.2012, принята 10.11.2012

В настоящее время окорка круглых лесоматериалов производится на лесопромышленных складах различного назначения и принадлежности - нижних складах лесозаготовительных предприятий, лесопереvalочных базах, биржах сырья потребителей. Разработаны различные способы использования коры: сжигание коры для получения тепловой или электрической энергии, механическая переработка на строительные и изоляционные плиты, химическая переработка, биологическая переработка коры для приготовления компостов. Таким образом, кора может являться сырьем для изготовления многих видов продукции. Началом переработки коры практически на все виды продукции является ее облагораживание, которое заключается в ряде подготовительных операций, среди которых одна из основных – операция измельчения. Известен ряд законов, определяющих энергоёмкость процесса измельчения, называемых также законами измельчения, статья посвящена экспериментальному исследованию соответствия процесса измельчения древесной коры одному из них.

Ключевые слова: древесные материалы, измельчение, энергоёмкость

Some energy intensity aspects of bark processing

E.V. Efimova¹, A.R. Birman¹, V.V. Shvetsova¹

¹St. Petersburg State Forestry Engineering University, 5 Institutsky lane, St. Petersburg, Russia. E-mail: tlzp@inbox.ru
The article received 19.09.2012, accepted 10.11.2012

Currently, round wood barking is performed at different-purpose collecting depots - at industrial log depots, timber-handling facilities, wood yards. Various ways of bark salvage have been developed: bark burning to obtain heat or electrical energy, mechanical recycling to obtain composition and insulation boards, chemical processing, bark biological processing for compost preparation. Thus, bark can act as raw material to manufacture various kinds of products. The beginning of bark processing to produce almost all kinds of products involves its treatment, which consists in a number of prior operations, one of the basic being disintegrating one. There are a number of laws that determine the disintegrating process energy intensity, also known as the disintegrating laws. The article is devoted to the experimental investigation of the compliance of one of them with the bark disintegrating process.

Keywords: wood materials, disintegrating, energy intensity.

Процесс измельчения характеризуется крупностью материала, поступающего на измельчение, крупностью и фракционным составом продукта измельчения и степенью измельчения [1].

Крупность кусков обозначается линейными размерами, которые условно называются длиной a , шириной b и толщиной c . Чаще всего приводится однозначная характеристика крупности куска по его диаметру d , причем эта величина определяется разными способами: например, как среднеарифметическое из длины, ширины и толщины куска, среднегеометрическое из этих величин или (наиболее часто) как диаметр окружности, описанной вокруг ширины и толщины куска.

Фракционный состав продукта измельчения определяют путем отсева пробы на наборе сит с круглыми отверстиями. Характеристика сит, применяемых для отсева, зависит от наибольшей крупности кусков исследуемого материала.

В процессе отсева отобранной пробы частицы материала определенной крупности, проходя через набор сит, задерживаются, в результате чего вся проба оказывается разделенной на несколько классов. Далее отдельные классы (фракции) взвешивают и определяют их содержание по отношению к общей массе пробы, таким образом определяется средневзвешенный размер материала:

$$d_{св} = m_1 d_1 + m_2 d_2 + \dots + m_n d_n, \quad (1)$$

где m_i – массовое содержание определенной фракции, d_i – размер фракции, определяемый как среднее значение отверстий соседних сит.

Под степенью измельчения понимают отношение размера кусков исходного материала к размеру кусков готового продукта. Существуют различные количественные оценки степени измельчения. Наиболее точно степень измельчения определяется отношением средневзвешенных размеров исходного $D_{св}$ и конечного $d_{св}$ материалов:

$$i = \frac{D_{св}}{d_{св}}. \quad (2)$$

Количество энергии, необходимой для измельчения какого-либо материала, зависит от многих факторов: размера, формы, взаимного расположения кусков, прочности, хрупкости, однородности исходного материала, его влажности, вида и состояния рабочих поверхностей машины и т. д. Поэтому установить аналитическую зависимость между расходом энергии на измельчение, физико-механическими свойствами измельчаемого материала и результатами процесса можно лишь в общем виде.

Известен ряд законов, определяющих энергоемкость процесса измельчения, называемых также законами измельчения. Гипотеза о том, что работа, расходуемая на измельчение материала, пропорциональна вновь образованной поверхности, выдвинутая проф. Риттингером:

$$A = K \Delta F, \quad (3)$$

где K – коэффициент пропорциональности, ΔF – приращение поверхности, названа первым законом измельчения, или законом поверхностей.

Пусть один кусок материала кубической формы размером D имеет поверхность $6D^2$ при измельчении этого куска до размера d , т. е. со степенью измельчения $i = D/d$ получим i^3 кубиков, каждый из которых имеет поверхность $6d^2$. В этом случае вновь образованная поверхность:

$$\Delta F = 6D^2(i-1). \quad (4)$$

Тогда на основании (4) работа, необходимая для дробления одного куска размером D , определится из равенства:

$$A = K 6D^2(i-1) = K_1 D^2(i-1). \quad (5)$$

Если дроблению подвергается не один кусок, а Q кг материала или Q/ρ м³ (где ρ – плотность, кг/м³), и средний размер кусков материала равен $D_{св}$, то количество кусков, подлежащих дроблению, равно $\frac{Q}{\rho D_{св}^3}$. Для этого случая справедливо:

$$A = \frac{Q}{\rho D_{св}^2} K_1 D_{св}^2 (i-1) = \frac{Q K_1}{\rho} \frac{(i-1)}{D_{св}} \quad (6)$$

Обозначив $\frac{K_1}{\rho}$ за K_R , получим окончательно формулу, выражающую закон Риттингера:

$$A = K_R Q \frac{(i-1)}{D_{св}} \quad (7)$$

Второй закон измельчения, также называемый законом объемов (закон Кирпичева-Кика), основывается на гипотезе о том, что энергия, необходимая для одинакового изменения формы геометрически подобных и однородных тел, пропорциональна объемам или массам этих тел. Тогда для куска размером D можем записать:

$$A = K_2 D^3. \quad (8)$$

Если принять, что на измельчение поступает Q кг материала со средним размером кусков $D_{св}$, то общее количество кусков размером $D_{св}$ составит $\frac{Q}{\rho D_{св}^3}$, а работа измельчения –

$$A = \frac{Q}{\rho D_{св}^3} K_2 D_{св}^3 = \frac{Q}{\rho} K_2. \quad (9)$$

Если предположить, что общая степень измельчения достигается за n стадий дробления, и в каждой стадии частная степень измельчения одинакова и равна r , то $i = r^n$.

Работа во всех стадиях измельчения одинакова, тогда общая работа:

$$A = n \frac{Q}{\rho} K_2. \quad (10)$$

Тогда окончательное выражение для второго закона измельчения примет вид:

$$A = \frac{\ln i}{\ln r} \cdot \frac{Q}{\rho} K_2 = K_K Q \ln i. \quad (11)$$

Математическое обобщение двух первых законов называется третьим законом измельчения (закон Бонда) и выражается формулой:

$$A = K_B Q \left(\frac{1}{\sqrt{d_{св}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{св}}} \right) \quad (12)$$

Аналитическое определение коэффициента пропорциональности на практике невозможно, однако, если рассмотреть напряжения, возникающие при взаимодействии рабочего органа машины для измельчения с

отрезком коры, то можно оценить характер влияния физико-механических свойств древесной коры на энергоемкость процесса ее измельчения.

При проведении исследований использовалась кора сосны, полученная после окорки сортиментов на роторном окорочном станке. Кора предварительно измельчалась и высушивалась в сушильном шкафу до абсолютно сухого состояния. Для получения требуемой рабочей влажности к пробе прибавляли воду, после чего выдерживали в пластиковом контейнере в течение 24 ч. Количество воды m_b определялось из известной формулы для абсолютной влажности:

$$W_a = \frac{m - m_0}{m_0} 100\%, \quad (13)$$

где m_0 – масса сухого вещества, $m = m_0 + m_b$ – масса образца. Таким образом,

$$m_b = \frac{m_0 W_p}{100}. \quad (14)$$

Готовились частицы с влажностью 60 %. Для опытов отбирали частицы коры на сите с диаметром отверстия 7 мм (d_2), прошедшие сквозь сито с диаметром 10 мм (d_1). Исходя из того, что размер частиц является случайной нормально распределенной величиной, при проведении исследований средневзвешенный размер таких частиц принимали равным 8,5 мм:

$$D_{св} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{7 + 10}{2} = 8,5 \text{ мм}.$$

Из просеянных частиц определенной влажности отбирались пробы массой 100 г, которые и использовались при проведении исследований.

Целью проводимых исследований являлось получение эмпирических зависимостей, связывающих фракционный состав измельченной древесной коры с затраченной на измельчение работой.

Для проведения экспериментальных исследований изготовлена экспериментальная установка кафедры технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ. Экспериментальный материал размещался в измельчителе, далее включался привод установки. Показания измерительных приборов – амперметра и вольтметра – фиксировались при помощи видеокамеры. Через равные интервалы времени работы установки, составлявшие 15 с, определяли фракционный состав экспериментального материала, для чего установка выключалась, а материал просеивался через сепаратор. Далее измерялась масса каждой фракции; средневзвешенную фракцию коры определяли по формуле (1).

Совершенная работа A определялась по формуле:

$$A = \int_0^{\tau} I(t) U(t) \cos \varphi dt, \quad (15)$$

где $I(t)$ – сила тока в цепи, $U(t)$ – напряжение, τ – суммарное время работы установки, $\cos \varphi = 0,95$.

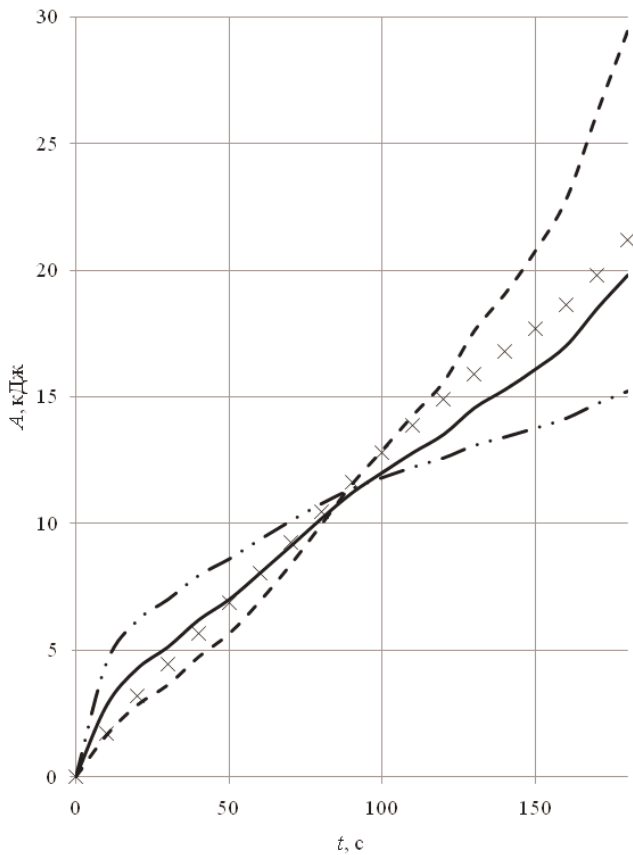


Рис. 1. Работа измельчения (сплошная линия – закон Бонда, пунктирная – закон Кирпичева-Кика, штрихпунктирная – закон Риттингера, x – экспериментальные данные), $W_a = 60\%$.

По средним значениям силы тока и напряжения интерполяцией определены зависимости $I(t)$. Ввиду малого изменения напряжения его значение при расчетах принято постоянным: $U(t) = \text{const}$. Зависимость $U \cdot I(t)$ имеет следующий вид:

$$U \cdot I(t) = 192,352 - 4,411t + 0,0924t^2 - 0,00079t^3 + 0,0000022t^4 \quad (16)$$

Далее по формуле (16) рассчитаны работа измельчения, совершенная к определенному моменту времени, и ряд вспомогательных величин:

$$K^* = \frac{i-1}{D_{ce}}, \quad (17)$$

$$K^{**} = \ln i, \quad (18)$$

$$K^{***} = \frac{1}{\sqrt{d_{ce}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{ce}}}. \quad (19)$$

Коэффициенты пропорциональности законов измельчения определены так:

$$K_K = \frac{A}{QK^*}, \quad (20)$$

$$K_R = \frac{A}{QK^{**}}, \quad (21)$$

$$K_B = \frac{A}{QK^{***}}. \quad (22)$$

После определения среднего значения коэффициентов пропорциональности с использованием экспериментально определенных значений d_{ce} построены графики, показывающие работу измельчения при использовании трех различных законов измельчения (рис. 1).

Графики показывают, что наилучшее согласование с экспериментом дает использование закона Бонда. Таким образом, энергоемкость процесса измельчения древесной коры определяется выражением:

$$A = K_B Q \left(\frac{1}{\sqrt{d_{ce}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{ce}}} \right).$$

$$K_B = 38,76$$

Литература

1. Бауман В. А. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. Учебник для вузов. М., «Машиностроение». 1975.

References

1. Bauman, VA and other mechanical equipment of building materials, products and designs. Textbook for high schools. M., "Engineering". 1975