

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ В НОЖЕВЫХ МАШИНАХ

Вихарев Сергей Николаевич,
канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
г. Екатеринбург, E-mail: cbp200558@mail.ru

Ключевые слова: размол, нож, силы, контакт, волокнистый материал.

Аннотация. В статье сделана попытка применить теорию контакта к исследованию процесса размола. Исследован коэффициент трения между гарнитурами. Показан волновой характер износа гарнитуры.

RESEARCH MILL OF FIBROUS SEMIFINISHED ITEMS IN KNIFE MACHINES

Vikharev Sergey Nikolayevich,
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: cbp200558@mail.ru

Key words: mill, knife, forces, contact, fibrous material.

Abstract. In article attempt to apply the theory of contact to research process mill is made. The factor of friction between sets is investigated. Wave character of deterioration sets is shown.

Ножевые размалывающие машины – основное технологическое оборудование для размола волокнистых материалов в целлюлозно-бумажной промышленности. При размоле волокнистых материалов в мельницах закладываются основные свойства выпускаемой продукции [1,2]. Эти машины относятся к самому энергоемкому оборудованию при производстве бумаги, картона и древесных плит [2,3,4,5]. Актуальность исследования процесса размола в ножевых размалывающих машинах подтверждено публикациями с анализом различных аспектов в области гидродинамики [7,8,10] и силового взаимодействия [2,3,6,8,9].

Однако исследование таких задач осложнено особенностями взаимодействия ножей гарнитуры мельниц и свойств волокнистых материалов. В статье сделана попытка применения теории контакта к исследованию процесса размола. Задача формулируется в рамках развития и приложения классических моделей механики сплошных сред, и основывается на теории дискретного контакта двух тел [11,12].

Рассмотрим скольжение ножей гарнитуры ротора по ножам статора с постоянной скоростью \vec{V} (рис. 1). Ножи ротора и статора отделены друг от друга вязкоупругим волокнистым материалом.

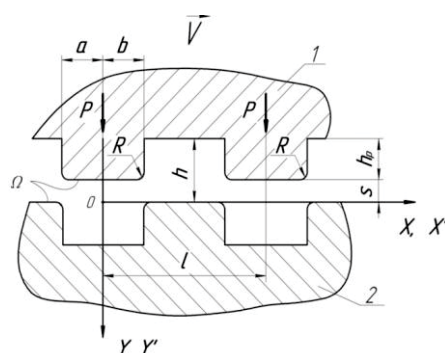


Рис. 1. Схема контактного взаимодействия ножей: 1 – ротор; 2 – статор

Форма ножей описывается обобщённой функцией Хевисайда $f(x, z)$. Ножи расположены вдоль оси x с периодом l . Введём неподвижную систему координат (x', y', z') так, что её начало в момент времени $t = 0$ расположено в центре одного ножа ротора, ось x' направлена вдоль вектора скорости, а ось y' направлена в центр межножевой канавки статора. Также введём подвижную со скоростью систему координат (x, y, z) связанную с ротором и движущуюся со скоростью \vec{V} .

Форма ножей описывается как

$$f(x, z) = h_0/2 + \sum_{j=1}^n (1 - h_0/h_{pj}) h_{pj} \Delta \Gamma_{x_j, z_j}, \quad x \in (0, l), \quad z \in (0, r)$$

где $\Delta \Gamma_{x_j, z_j} = \Gamma(x, z - x_j, z_j) - \Gamma[x, z - x_j, z_j - (a+b)_j, c_j]$, $\Gamma(x, z)$ – единичная функция Хевисайда; x_j, z_j – координата точки начала j -го ножа; $(a+b)_j, c_j$ – соответственно ширина и длина j -го ножа; h_0 – толщина гарнитуры; h_{pj} – высота j -го ножа; n – число ножей, r – радиус ножевой гарнитуры.

В зоне контакта Ω выполняется условие

$$w(x, z) = \delta + f(x, z), \quad (x, z) \in \Omega,$$

где $w(x, z)$ – нормальные перемещения границы вязкоупругого слоя вследствие его деформирования; δ – сближение ножей ротора и статора за счет деформирования.

Контактное давление $p(x, z)$ вне площадок контакта и на её границе $(-a(z), b(z))$ равно нулю:

$$p(x, z) = 0, \quad (x, z) \notin \Omega, \quad p(-a(z)) = p(b(z)) = 0.$$

Нормальные перемещения и давление по координате x удовлетворяют условиям периодичности

$$w(x, z) = w(x + l, z), \quad p(x, z) = p(x + l, z).$$

Уравнение равновесия для ножа имеет вид

$$\iint_{\Omega} p(x, z) dx dz = P,$$

где P – нагрузка на один нож.

Впервые контактное взаимодействие гарнитуры мельниц с волокнистым полуфабрикатом было рассмотрено автором в статье [13].

Схема сил, действующих на нож, показана на рис. 2. T_d, P_e – тангенциальная и нормальная составляющая силы реакции волокнистой прослойки.

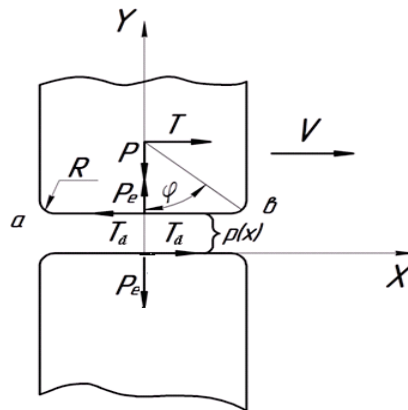


Рис. 2. Схема сил, действующих на нож при размоле волокнистой массы

Для площадки контакта $(a + b)$ ножей гарнитуры справедливы отношения

$$\hat{P}_e = 2 \sum_{j=1}^N \Delta \hat{z} \int_{-\hat{a}_j}^{\hat{b}_j} \hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j) \cos \varphi(\hat{x}) d\hat{x};$$

$$\hat{T}_d = 2 \sum_{j=1}^N \Delta \hat{z} \int_{-\hat{a}_j}^{\hat{b}_j} \hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j) \sin \varphi(\hat{x}) d\hat{x};$$

$$\hat{M} = \iint_{\Omega} \hat{x} \hat{p}(\hat{x}, \hat{z}) d\hat{x} d\hat{z},$$

где N – число тонких полос, параллельных направлению скольжения; $-\hat{a}_j, \hat{b}_j$ – границы j полосы шириной $\Delta\hat{z}$, $\hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j)$ – распределение давления в зоне контакта; \hat{x}, \hat{z} – безразмерные координаты; \hat{M} – момент сопротивления движению ножа.

Коэффициент трения скольжения между ножами ротора и статора можно определить как $\mu = \hat{T}_d / \hat{P}_e$.

Исследование свойств волокнистой прослойки и контактного взаимодействия ножей выполнено в работах [13, 14]. Зависимость коэффициента трения между гарнитурами μ от параметра ζ при представлена на рис. 3.

Коэффициент трения уменьшается с уменьшением $\frac{l}{a+b}$. С уменьшением жесткости волокнистой прослойки увеличивается значение коэффициента трения, а также усиливается влияние плотности контакта. Максимальное значение коэффициента трения μ смещается в сторону больших значений при увеличении $\frac{l}{a+b}$ и прочих равных значениях параметров.

Деформационная составляющая коэффициента трения стремится к нулю при $\zeta \rightarrow 0$ (при $V \rightarrow \infty$). Анализируя вышесказанное, можно обоснованно подойти к уменьшению коэффициента трения при размоле в ножевых машинах и снижению энергозатрат мельниц.

В зоне размола целесообразно использовать вместо трения скольжения трение качения. Это приведет к снижению энергоемкости мельницы и уменьшению рубящих воздействий ножей гарнитуры на полуфабрикат. Использовать трение качения в зоне размола предложено в конструкциях размалывающих машин, защищенных патентами [15,16].

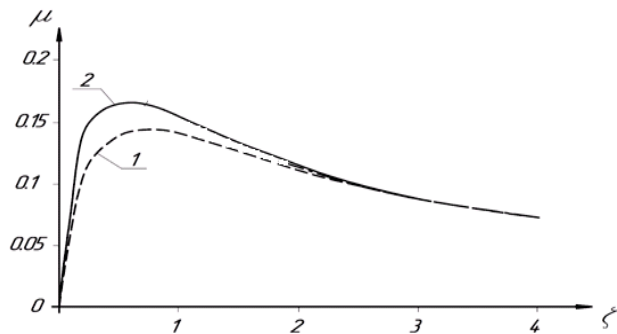


Рис. 3. Зависимость деформационной составляющей коэффициента трения μ

от параметра ζ : 1 – при высокой плотности контакта $\frac{l}{a+b} = 2$;

2 – при низкой плотности контакта $\frac{l}{a+b} = 6$.

Установившееся в процессе изнашивания форма ножей гарнитуры мельницы зависит от следующих безразмерных комплексов: \hat{a}, m – триботехнические свойства материала гарнитуры; γ – отношения времен T_σ релаксации и T_δ последствия волокнистой прослойки; $\zeta = \left(\frac{l}{V}\right) / T_\delta$ – отношение времени воздействия ножей гарнитуры за один период к времени T_δ последствия волокнистой прослойки.

При экспериментальном исследовании поверхности изношенной гарнитуры многие авторы отмечали волновой характер износа [17,18]. Построен график формы поверхности гарнитуры в установившемся режиме изнашивания (рис. 4).

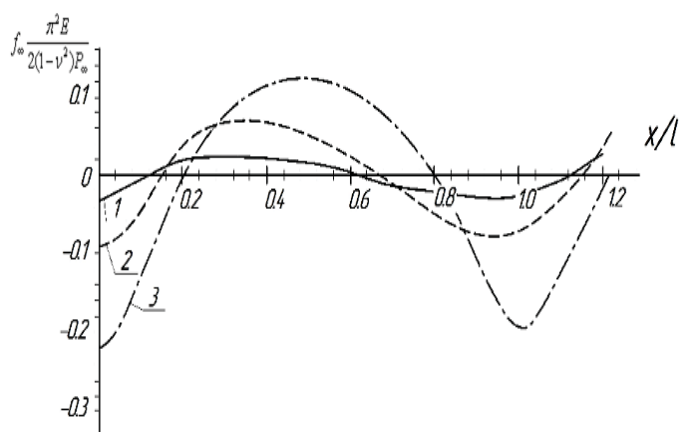


Рис. 4. Установившаяся форма изношенной поверхности гарнитуры при $m_1 = 0,3$, $\hat{a} = 0,2$, $\gamma = 10^{-3}$: 1 – $\zeta = 1$; 2, $\zeta = 3$; 3 – $\zeta = 10$

Форма изношенной поверхности гарнитуры не является симметричной при $10^{-2} < \zeta < 10^2$. При больших значениях ζ форма износа приближается к симметричной. При прочих равных условиях в зависимости от параметра ζ меняется глубина впадин (амплитуда волн).

Вязкоупругие свойства материала гарнитуры оказывают существенное влияние на формирование рельефа поверхности гарнитуры при изнашивании, причем форма поверхности существенно зависит от скорости скольжения ротора по статору.

Форма ножей гарнитуры в диапазоне скоростей относительного скольжения от $10^{-3} l/T\varepsilon$ до $10^3 l/T\varepsilon$ является не симметричной. Наиболее выраженная асимметрия достигается при скорости скольжения $V=l/T\varepsilon$. Результаты проведенных исследований позволяют обоснованно подойти к проектированию, эксплуатации и повышению надежности ножевых размалывающих машин.

Список литературы

1. Комаров В.И. Деформация и разрушение целлюлозно-бумажных материалов. - Архангельск: Изд-во Архангельского госуд. технич. ун-та, 2002. - 440 с.
2. Иванов С.Н. Технология бумаги. – М.: Лесная промышленность, 2006.– 696 с.
3. Бывшев А.В., Савицкий Е.Е. Механическое диспергирование волокнистых материалов. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1991. – 216 с.
4. Gorski, D., Hill J., Engstrand, P., Johansson, L. Reduction of energy consumption in TMP refining through mechanical pre-treatment of wood chips//Nord. Pulp Pap. Res. J. 2010. V. 25(2). P.156-161.
5. Fernando D., Muhic D., Engstrand P., Daniel G. Fundamental understanding of pulp property development under different thermomechanical pulp refining conditions as observed by a new method and SEM observation of the ultra structure of fibre surfaces//Holzforschung. 2011. V.65 (6). P.777-786.
6. Алашкевич Ю.Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: дис. ... д-ра техн. наук. - Красноярск, 1986.
7. Kang T., Somboon P., Paulapuro H. Fibrillation of mechanical pulp fibers//Pap. Puu 2006. V.88 (7). P. 409-411.
8. Daniel G., Bardage S., Fernando D., Hafren J., Ander P. Energy consumption in refining of Scots pine and Norway spruce TMP is governed by fibre morphology and ultra structure// Proceedings of the Int. Mech. Pulp. Conf. Sundsvall, Sweden, June 1-4. 2009. P. 82-86.

9. Konrad O. The effect of refining intensity on the water retention value // Ann. Warsaw Agr. Univ. Forest. and Wood Tech-nol. 2006. V.59. P. 132-136.
10. Luukkonen A., Olson J., Martinez D. Low Consistency Refining of Mechanical Pulp, Effect of Gap, Speed and Power// J. Pulp Paper Sci. 2010. V. 36. P. 28-34.
11. Вихарев С.Н. Контактное взаимодействие гарнитуры мельниц с волокнистым полуфабрикатом// Лесной журнал. - 2013. - №3. - С. 133-138.
12. Горячева И.Г. Контактная задача качения вязкоупругого цилиндра по основанию из того же материала// ПММ. – 1973(37). – № 5. – С. 877-885.
13. Вихарев С.Н., Душинина С.А. Модель волокнистой прослойки при размоле в дисковых мельницах// Лесной журнал. - 2014. - №2. – С. 116-122.
14. Ерыхов Б.П., Липцев В.Н., Чибирев В.Е. Исследование вязкоупругих свойств древесины применительно к размолу щепы // Лесной журнал. – 1979. - № 4. – С. 61-66.
15. Патент 108042 РФ, МПК D 21 D 1/30. Мельница для размола волокнистых материалов / Вихарев С.Н., Агарков М.С., опубл. 10.09.2011, бюл. № 25, – 4 с.: ил.
16. Патент 134936 РФ, МПК D 21 D 1/30. Дисковая мельница /Вихарев С.Н., Микушина В.Н., опубл. 27.11.2013, бюл. № 33, – 4 с.: ил
17. Diagnosing Refiner Plate Failure Modes in Thermo-Mechanica, Pulpmg// J&L Fiber Services. OPTIMA. Technical Bulletin. 2003. № 1-2. - 4 p.
18. Демин П.П., Пашинский В.Ф., Киселев С.С. Стойкость гарнитуры дисковых мельниц. - М.: ВНИПИЭИлеспром, 1972. - 23 с.

УДК 676.164.8

ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ СОЛОМЫ И ШЕЛУХИ РИСА

Вураско Алеся Валерьевна,
д-р техн. наук, заведующая кафедрой,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
г. Екатеринбург, E-mail: vurasko2010@yandex.ru

Симонова Елена Игоревна,
ассистент, ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет,
г. Екатеринбург, E-mail: bliznyakova1989@mail.ru

Минакова Анастасия Рашитовна,
канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
г. Екатеринбург, E-mail: galimova_ar@mail.ru

Полиенко Ксения Сергеевна,
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
г. Екатеринбург, E-mail: k.polienko@bk.ru

Ключевые слова: целлюлоза, сорбционные материалы, окислительно-органосольвен-
тная варка, шелуха, солома, недревесное сырье.

Аннотация. Исследовано влияние размола технической целлюлозы из шелухи и соломы
риса повышения сорбционной способности, адсорбционной способности и капиллярной впи-
тываемости.