

УДК 676.024.6

А.А. Дирацян, Е.Е. Нестеров, Ю.Д. Алашкевич, И.А. Воронин

Сибирский государственный технологический университет

Нестеров Евгений Евгеньевич родился в 1975 г., окончил в 1998 г. Красноярский государственный университет, ассистент кафедры высшей математики и информатики Сибирского государственного технологического университета, аспирант кафедры машин и аппаратов промышленных технологий. Имеет 5 научных трудов в области теоретического анализа механизма обработки волокнистых материалов при ножевом и безножевом способах размола.
E-mail: mapt@sibstu.kts.ru



НОВЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР ПРОЦЕССА РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Обоснована необходимость поиска более эффективных критериев оценки качественных показателей процесса размола; предложены новый технологический параметр процесса размола волокнистых материалов и методика его определения.

Ключевые слова: размол, длина контакта, точки пересечения, секундная режущая длина, угол скрещивания, угол установки, волокнистая суспензия, укороченные волокна, качество.

Определение технологического параметра секундной режущей длины гарнитуры ножевых размалывающих машин традиционным способом учитывает угол установки ножей к радиусу гарнитуры косвенно, через среднюю длину ножей. Оказалось, что в некоторых случаях контакт кромок происходит не по всей длине ножа. Следовательно, не в полной мере учитывается влияние углов скрещивания ножей на основные технологические показатели работы ножевых размалывающих машин в динамике процесса размола. Из литературных источников известно [2], что при всех прочих равных условиях увеличение абсолютной величины секундной режущей длины L_s при размоле массы влечет за собой укорочение волокон, а увеличение поверхности размола положительно сказывается на их фибрилляции. Используя традиционную формулу для вычисления L_s , установили, что при различных геометрических параметрах гарнитуры можно получить близкие по значению L_s , однако качество помола при этом будет различное. Видимые противоречия характеризуют проблему выбора конструктивных решений.

Существенным параметром, формирующим секундную режущую длину, является количество точек пересечения режущих кромок ножей ротора с ножами статора. Раньше его не учитывали, так как ему не придавали должного значения при расчете основных технологических параметров процесса размола. Каждая точка пересечения формирует поверхность размола в виде ромба [3]. При этом количество и площадь таких ромбов различно и динамично меняются при повороте ротора относительно статора. На количество точек пересечения влияют такие конструктивные особенности рисунка ножевой гарнитуры, как ширина ножа, ширина ячейки и угол установки ножей.

Учитывая вышесказанное и используя известный в математике способ преобразования координат при повороте осей координат на некоторый угол [1], произвели расчет секундной режущей длины секторной ножевой гарнитуры дисковых мельниц численным методом. Предложенная методика основана на определении координат движущейся точки пересечения режущих кромок, образованной при контакте пары прямолинейных параллельных ножей ротора и статора постоянной ширины,

установленных под некоторым углом к радиусу гарнитуры, до и после поворота ротора относительно статора, против часовой стрелки на малый угол $d\varphi$, при фиксированной частоте вращения. Для этого диск ножевой гарнитуры располагали в прямоугольной системе координат (первая четверть). Углы установки ножей ротора и статора определяли к радиусу диска по оси OX (рис. 1).

Определив координаты точек A' и A , вычислили длину отрезка $A'A$, образуемого пересечением ножевых кромок ротора и статора при повороте на малый угол $d\varphi$:

$$A'A = \frac{d\varphi}{k_2 - k_1} \sqrt{(k_2 - b_1 - b_1 k_2^2 + b_2 k_1 k_2)^2 + (k_1 k_2 + b_1 k_1 k_2^2 - b_2 k_1^2 k_2 - k_1 b_2)^2}, \quad (1)$$

где k_1 и k_2 – тангенсы угла наклона ножей статора и ротора к радиусу по оси OX ,

$$k_1 = \operatorname{tg}\alpha_c \text{ и } k_2 = \operatorname{tg}\alpha_p;$$

b_1 и b_2 – коэффициенты из уравнения прямой линии для статора и ротора.

Длину, отрезаемую парой ножей при повороте ротора относительно статора на малый угол $d\varphi$, с учетом углов установки ножей ротора и статора по отношению к радиусу гарнитуры, назвали радианной длиной элементарного контакта ($L_{\text{рад. эл.}}$, м/рад).

Учитывая, что гарнитура содержит большое количество ножей и эффекты от их воздействия усредняются по области гарнитуры, то, вычисляя двойной интеграл, уточняют истинную величину секундной режущей длины (2):

$$L_s = \omega L_{\text{рад}} = \omega \sum \bar{L}_{\text{рад.эл}} = \omega \sum \frac{AA'}{\Omega d\varphi} = \omega \sum \frac{x + y \operatorname{tg}\alpha_p}{\Omega \operatorname{tg}\alpha_p - \operatorname{tg}\alpha_c} \sqrt{1 + \operatorname{tg}\alpha_c^2}, \quad (2)$$

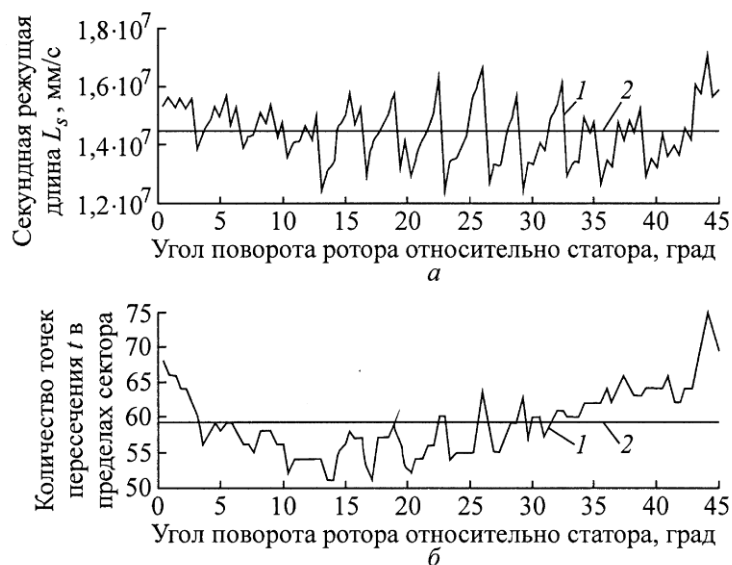
где ω – угловая скорость вращения ротора, рад/с.

Предложенная математическая зависимость отражает сложность этапа определения данной технологической величины, поэтому необходимо привлечение современных средств вычислительной техники. На основании вышеприведенного расчета, с использованием пакета программ Matlab, была составлена программа, которая численным методом определяет количество точек, участвующих в отрезании некоторой длины [4].

Рис. 1. Расчетная схема расположения ножевого сектора в системе координат: α_1 – угол установки ножей статора; α_2 – угол установки ножей ротора



Рис. 2. Зависимость секундной режущей длины L_s (а) по области гарнитуры и количества одновременных точек пересечения t (контактов) ножевых кромок в пределах одного сектора (б) от угла поворота ротора относительно статора φ : 1 – экспериментальная кривая, 2 – среднее значение показателя



Таким образом, уточнено истинное значение секундной режущей длины, формируемой за оборот с учетом заданной частоты вращения ротора, ширины ножа, ширины ячейки и углов установки ножей к радиусу гарнитуры на роторе и статоре, а также входного и выходного диаметров гарнитуры, количества секторов на размольном диске и ширины технологической канавки. Предложенная методика позволила получить наглядную графическую зависимость взаимодействия ножевых кромок ротора и статора при повороте ротора на один сектор (рис. 2).

Анализируя полученные теоретические зависимости для различных рисунков гарнитур, определено, что угол установки ножей способен влиять на величину секундной режущей длины и, в большей степени, на количество точек пересечения, а значит, на среднее значение длины, «отрезаемой» парой ножей за один оборот. При сравнении секундной режущей длины ножевых гарнитур при прочих равных условиях, но с различными углами установки ножей, и сопоставлении коэффициента укорочения волокна и секундной режущей длины получены результаты, которые не стыкуются с традиционными представлениями о влиянии увеличения секундной режущей длины на рубку волокна при размоле. Поэтому возникла объективная необходимость поиска более эффективного критерия оценки качества помола и методики его определения.

На основании теоретических исследований определено отношение истинной секундной режущей длины и количества точек пересечения за один оборот ротора относительно статора для различных рисунков секторных ножевых гарнитур с прямолинейными параллельными ножами. Таким образом, впервые был получен новый критерий, объективно характеризующий геометрические параметры гарнитуры дисковых мельниц с учетом углов скрещивания ножей, названный циклической элементарной длиной:

$$L_{\text{ц.эл}} = \left\langle \bar{L}_{\text{рад.эл}} \right\rangle 2\pi = \frac{60L_s}{nt \left(\frac{2\pi}{\psi} \right)} \quad (3)$$

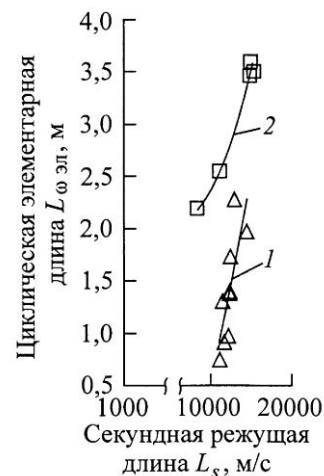
Здесь $\langle \rangle$ – обозначают усреднение по области;

n – частота вращения ротора, об/мин;

t – количество точек пересечения в пределах одного сектора;

ψ – угол при вершине сектора, град.

Рис. 3. Диапазон изменения значений циклической элементарной длины $L_{\omega \text{ эл}}$ и секундной режущей длины L_s : 1 – пересекающиеся ножи, 2 – совпадающие (зеркальные) ножи



Параметр $L_{\omega \text{ эл}}$ не учитывает скорость вращения ротора мельницы, так как рассчитывался на один оборот ротора. Для учета скорости вращения ротора при рабочем режиме установки включен параметр секундной режущей длины L_s (см. формулу (2)).

Теперь ножевую гарнитуру можно классифицировать по параметру циклической элементарной длины, характеризующей среднюю длину, «отрезаемую» парой ножей за один оборот ротора относительно статора, которая будет «циклично» повторяться при каждом последующем обороте диска ротора относительно статора.

На рис. 3 представлены значения циклической элементарной длины и секундной режущей длины для секторных ножевых гарнитур с параллельным расположением ножей, при прочих равных условиях, но с различными углами скрещивания режущих кромок. Изображение представлено в полулогарифмической системе для удобства сравнения значений различного порядка. У гарнитур 1-го типа (1) ножи всегда образуют некоторый угол скрещивания, а гарнитуры 2-го типа (2) выполнены зеркально. Для гарнитуры 1-го типа диапазон изменения значений секундной режущей длины составляет в пределах 20 %, а циклической элементарной длины – до 69 %. Это объясняет, почему на гарнитурах с близкими значениями секундной режущей длины получается различное качество массы.

Экспериментально было установлено, что с увеличением численного значения параметра циклической элементарной длины $L_{\omega \text{ эл}}$ происходит уменьшение коэффициента укорочения волокна [3].

При использовании нового технологического параметра $L_{\omega \text{ эл}}$ представляется возможным влиять на рисунок гарнитуры, уточнять секундную режущую длину и поверхность размола с учетом углов скрещивания ножей, которые в свою очередь зависят от геометрических параметров гарнитуры. Представленные разработки позволяют дать рекомендации для проектирования и изготовления гарнитур с необходимыми качественными показателями процесса размола и эффективной эксплуатации современных ножевых размалывающих машин на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данко П.Е., Попов А.Г., Кожевникова Т.Я. Высшая математика в упражнениях и задачах. В 2-х ч. Ч. I: учеб. пособие для втузов. 5-е изд., испр. М.: Высш. шк., 1999. 304 с.

2. Легоцкий С.С., Гончаров В.Н. Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 224 с.

3. Набиева А.А., Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И. Анализ формирования технологических параметров ножевых размалывающих гарнитур // Химия растительного сырья. 2009. № 3. С. 169–172.

4. Свидетельство № 2009613683 РФ. Численный метод определения секундной режущей длины секторной ножевой гарнитуры дисковых мельниц с параллельными прямолинейными ножами постоянной ширины/А.А. Набиева, Е.Е. Нестеров, Ю.Д. Алашкевич, Д.С. Карпенко. Заявлено 10.07.2009. № 2009612514.

A.A. Diratsuyan, E.E. Nesterov, Yu.D. Alashkevich, I.A. Voronin
Siberian State Technological University

New Technological Parameter of Fibrous Materials Grinding Process

The search necessity of more efficient criteria for qualitative indices of grinding processes is justified. A new technological parameter for fibrous material grinding process and its determination technique are offered.

Keywords: grinding, contact length, crossing points, second cutting length, crossing angle, setting angle, fibrous suspension, fiber shortening, quality.
