

*Лозовая С.Ю., д-р техн. наук, проф.,
Лозовой Н.М., канд. техн. наук, доц.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ НАСТУПЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ РАБОЧИХ КАМЕР ПОМОЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

lozwa88@mail.ru

Одним из перспективных направлений в развитии техники и технологий сверхтонкого помола является создание устройств, основанных на принципе деформирования тонкостенных элементов, обеспечивающих эффективный помол, в которых можно было бы управлять движением мелющих тел и реализовывать различные типы нагружения измельчаемого материала путем выбора соответствующего вида и типа деформирования рабочей камеры. В мельнице с деформируемой помольной камерой наиболее слабый элемент конструкции – рабочая камера, изготовленная из износостойкой кордированной резины, поэтому важно определить время выхода ее из строя.

При определении интенсивности изнашивания номинальное контактное давление должно определяться с учетом того, что износ корпуса, мелющих тел происходит за счет внедрения частиц в их материал. Поэтому путь трения зависит только от количества мелющих тел, вступающих в контакт с внутренней поверхностью корпуса в течении времени работы.

В результате получено аналитическое выражение показывающее зависимость времени эксплуатации рабочей камеры до наступления предельного состояния от геометрических и технологических параметров измельчения, а так же от физико-механических свойств измельчаемого материала.

Ключевые слова: принцип деформирования тонкостенных элементов, помол, мелющие тела, износостойкая кордированная резина, интенсивность изнашивания, путь трения, время эксплуатации.

Качество продукции ряда отраслей промышленности во многом зависит от физико-механических и технологических свойств исходного сырья. Измельчение сырья ведет к повышению однородности порошкообразных смесей, что позволяет получать высококачественные материалы: растворы, наполнители, пигменты, красители, керамические, металлокерамические и другие материалы.

К числу причин, стимулирующих поиски технологически новых принципов измельчения и соответствующих им конструктивных решений в проектировании помольных устройств, относятся: повышение потребности в тонкоизмельченных порошках с размером частиц менее 5 мкм; появление новых синтетических материалов с особыми свойствами; получение готовых продуктов отвечающих заданным свойствам, с узким гранулометрическим составом и требуемой формой частиц.

При помоле материалов имеющих пластинчатую, шестоватую и прочие подобные структуры, наличие ударных воздействий приводит к тому, что разрушение происходит по слоям. К таким материалам относится волластонит, имеющий микроигловатую структуру, использующийся в качестве микроармирующего наполнителя в лакокрасочной промышленности, при его использовании для снижения усадки во время обжига керамических масс форма частиц волластонита должна быть близкой к округлой. В

настоящее время нет достаточно полной теории, позволяющей с необходимой точностью определять характеристики промышленных мельниц для тонкого помола, способных измельчить исходный продукт до частиц требуемой дисперсности.

Как известно, каждый тип машин определяется параметрами характерными для данной конструкции. В связи с этим, использование более эффективных и экономичных способов измельчения на основе технологически новых приемов, построение теории и процессов измельчений, разработка и создание аппаратов малой производительности является актуальной проблемой имеющей важное народное значение.

Одним из перспективных направлений в развитии техники и технологий сверхтонкого помола является создание устройств, основанных на принципе деформирования тонкостенных элементов, обеспечивающих эффективный помол. Обзор существующих на настоящий момент измельчительных устройств малотоннажного производства показал отсутствие агрегатов, в которых можно было бы управлять движением мелющих тел и реализовывать различные типы нагружения измельчаемого материала путем выбора соответствующего вида и типа деформирования рабочей камеры.

При деформировании основным свойством рабочей камеры является способность изменять свои размеры под действием нагрузки. Выход-

ным параметром любого деформируемого элемента является перемещение, передаваемое перерабатываемому материалу. Перемещение характеризуется изменением положения некоторой подвижной точки деформируемого элемента при его перемещении относительно начала отсчета. Для отсчета выбираются точки, совершающие максимальное перемещение.

Использование в качестве рабочего органа деформируемую рабочую камеру позволяет получить новый механизм воздействия на обрабатываемую среду. При этом изменение жесткости, степени и вида деформирования, способа

установки корпуса дает возможность изменить характер воздействия на материал в зависимости от его свойства и требуемых условий проведения процесса помола.

Форма деформируемой камеры может быть (рис. 1, а-г) цилиндрической (а), бочкообразной (б), гофрированной с цилиндрическими (в) или с винтовыми (г) гофрами и др.

Материалом деформируемых камер могут служить разные виды резин (кордированные резины); металлы (наборные оболочки из сегментов различной конфигурации) и др.

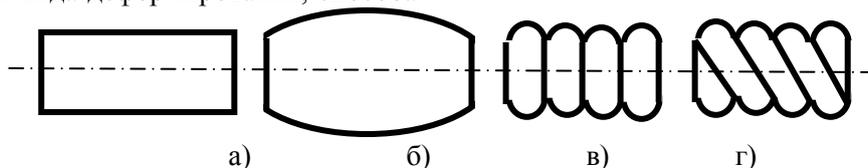


Рис. 1. Варианты форм деформируемых камер

Деформировать рабочую камеру можно по следующим схемам:

1. В поперечном сечении (рис. 2, а-г):

а) камера неподвижна, роликами ей передается форма эллипса и снаружи (изнутри) ими обкатывается;

б) камера неподвижна, снаружи деформируется прижимами возвратно-поступательными движениями;

в) камера неподвижна, снаружи деформируется роликами или прижимами возвратно-поступательными движениями, у которых имеется возможность углового смещения;

г) камера вращается с небольшим числом оборотов, снаружи деформируется роликами или прижимами возвратно-поступательными движениями.

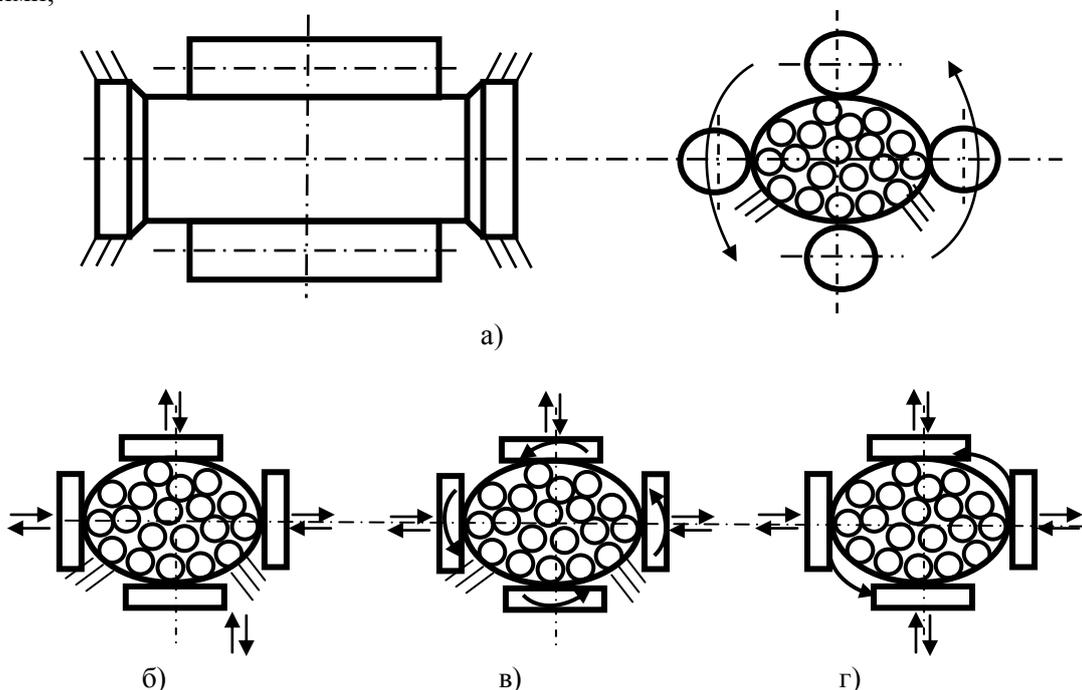


Рис. 2. Схемы изменения объема рабочей камеры деформированием в поперечном сечении

2. В продольном сечении:

а) один конец камеры закреплен жестко, другой совершает продольные возвратно-поступательные движения параллельно своей оси (рис. 3, а);

б) один конец камеры закреплен жестко, другой совершает плоские колебательные дви-

жения в одной или в нескольких плоскостях, смещающие камеру относительно продольной оси (рис. 3,б);

в) совмещает варианты а и б (рис. 3, в);

г) один конец камеры закреплен жестко, второй деформируется вращением с эксцентриситетом (рис. 3, г);

д) два конца камеры, закрепленной посередине, синхронно деформируются вращением с эксцентриситетом в противоположные стороны (рис. 3, д).

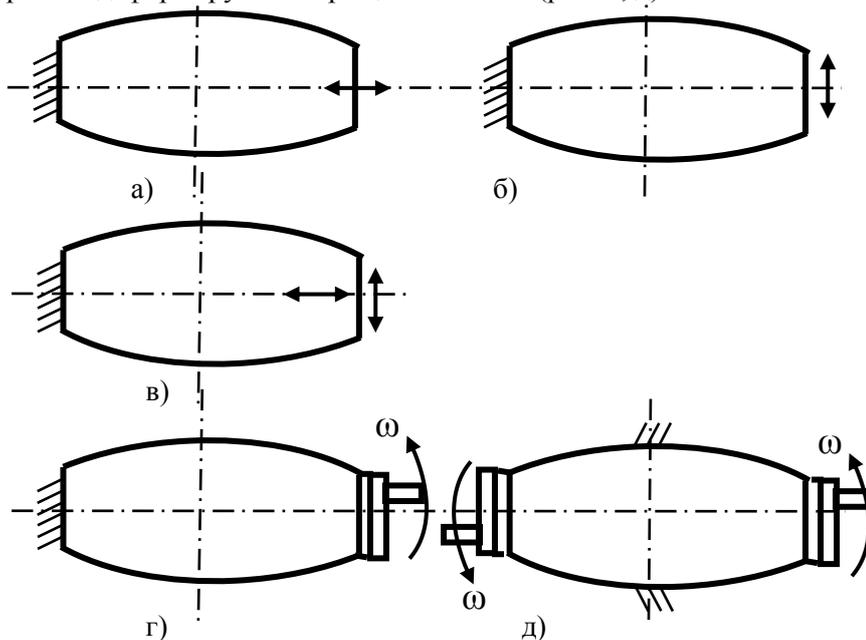


Рис. 3. Схемы изменения объема рабочей камеры деформированием в продольном сечении или по длине

Ролики (прижимы) могут иметь следующую конфигурацию (рис. 4):

- а) цилиндрическую;
- б) коническую;
- в) один ролик (прижим) имеет седловидную форму, другой соответствующую бочкообразную;
- г) ролики (прижимы) наборные из элементов сферической, цилиндрической, конической и др. форм.

Представляется целесообразным располагать рабочую камеру горизонтально в целях многообразия организации перемещения шаровой загрузки, особенно с учетом того, что при вертикальном ее расположении на дне емкости образуется так называемая «мертвая зона», в которой часть частиц не будет промальваться. Камера загружается мелкими телами и материалом после деформирования.

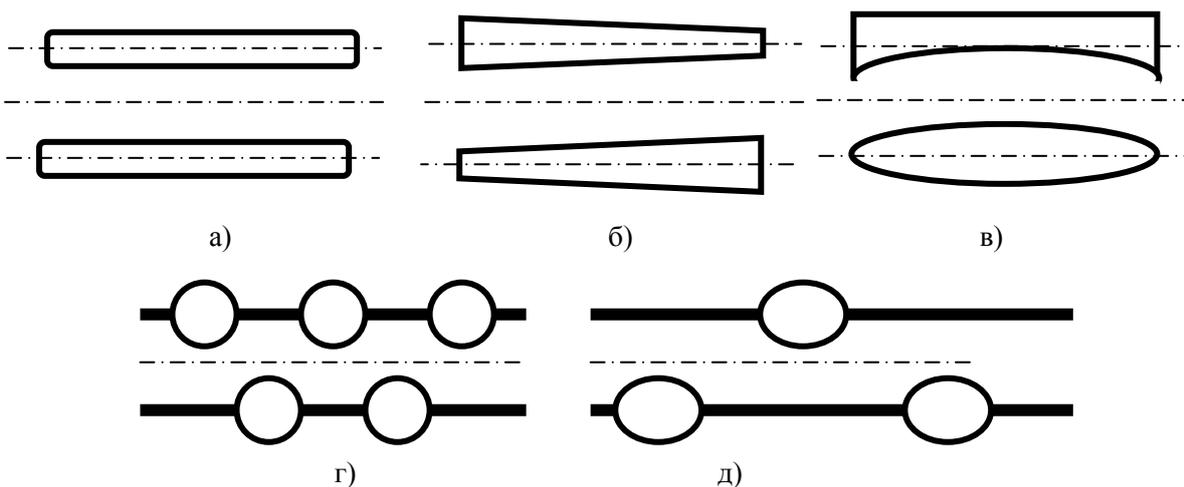


Рис. 4. Варианты деформирующих элементов

В мельнице с деформируемой помольной камерой наиболее слабый элемент конструкции – рабочая камера, изготовленная из износостойкой кордированной резины, поэтому важно определить время выхода ее из строя. Взаимодействие мелющих тел, материала и внутренней

поверхности ее рабочей камеры можно рассматривать как работу пар трения. Отказы при работе устройства могут наступить из-за износа поверхности рабочей камеры до предельного состояния, как в опасном сечении, так и по всей внутренней поверхности.

Трение и износ в данной системе зависят от следующих факторов: состояния контактирующих поверхностей, нагрузки, характера взаимных перемещений, допустимых пределов износа. Причем, основными факторами являются: давление сопряженных поверхностей и скорость перемещения мелющих тел, материала относительно внутренней поверхности помольной камеры и относительно друг друга. На распределение давления оказывает влияние характер нагрузки, зависящей от скорости скольжения трущихся поверхностей. При деформировании рабочей камеры происходит неравномерное распределение давления, которое компенсируется неодинаковостью окружных скоростей в различных точках контакта всех элементов рабочей среды и корпуса.

Анализ взаимных перемещений показал, что в рассматриваемой системе это – трение качения с проскальзыванием, происходящее из-за разности размеров мелющих тел и измельчаемых частиц. При этом проскальзывание в зоне контакта определяется деформацией (раздавливанием и истиранием) измельчаемого материала. В системе происходят три типа изнашивания: абразивное, усталостное, износ при заедании, который определяется одновременным механическим и молекулярным взаимодействием контактирующих поверхностей.

При усталостном изнашивании [1] трение поверхностей обуславливает скольжение дислокаций на некотором расстоянии от поверхности. Большое скопление дислокаций приводит к зарождению микропустот, которые коагцилируют либо путем роста, либо путем сдвига материала, что приводит к образованию трещин, расположенных параллельно поверхности истирания. При этом, когда трещины достигают критической длины, материал отслаивается, а пластическая деформация, протекающая в тонких поверхностных слоях, приводит к возрастанию плотности дислокаций, в связи с чем, возрастает твердость, что является причиной выкрашивания поверхностного слоя.

Для расчета времени работы рабочей камеры до наступления предельного состояния (до достижения износа z_0) необходимо определить путь трения

$$L_{\partial} = z_{\partial} / J, \quad (1)$$

где J – интенсивность изнашивания [2].

При определении интенсивности изнашивания номинальное контактное давление должно определяться с учетом того, что износ корпуса, мелющих тел происходит за счет внедрения частиц в их материал. Необходимо учитывать условие, при котором происходит измельчение

частиц без микрорезания ими рабочей камеры и шаров [3]

$$\frac{h}{r} = \frac{[\sigma]}{2H} \leq 0,5, \quad (2)$$

где r – радиус частицы; h/r – относительное внедрение частицы в мелющее тело при котором произойдет ее разрушение; H – твердость мелющих тел; σ – предел прочности измельчаемого материала.

Как было уже отмечено, механизм взаимодействия частиц с мелющими телами и стенками рабочей камеры можно рассматривать, как работу пары трения качения - частица воспринимает раздавливающе-истирающие воздействия. Величина, оценивающая раздавливающие воздействия, определяются

$$P_p = \sum_{i=n_{\Delta t}} p_i, \quad (3)$$

где P_p – суммарное давление необходимое для раздавливания одновременно взаимодействующих с поверхностями сопряжения частиц; $n_{\Delta t}$ - число частиц одновременно взаимодействующих с материалом поверхностей сопряжения; p_i – нагрузка, разрушающая измельчаемую частицу с условным объемным радиусом R_i , являющаяся суммарной нагрузкой сил действующих в системе.

Нагрузку p_i определим механической прочностью частицы

$$p_i = \sigma \pi R_i^2, \quad (4)$$

где σ – условное напряжение сжатия частицы, (разрушающая нагрузка), деленная на площадь ее максимального сечения, МПа [3]. Для осуществления процесса помола необходимо, чтобы нагрузка на единицу контакта P_a была больше суммы механической прочности частиц

$$P_a > \sum_{i=n_{\Delta t}} p_i. \quad (5)$$

Для определения наибольшего значения P_a необходимо подсчитать максимальное количество частиц, одновременно взаимодействующих с мелющими телами при 100% заполнении межшарового пространства материалом, т.к. это требует максимальных нагрузок для разрушения

$$(n_{\Delta t})_{\max} = n_3, \quad (6)$$

где n_3 – зазор, в который попало максимальное количество частиц.

Число частиц в, занимаемом объеме V_3

$$n_3 = \frac{15D_{\max}^{3/2} \varepsilon}{\pi d^3} \sqrt{\frac{2R_1 R_2}{R_1 + R_2}}. \quad (7)$$

Максимальная воспринимаемая измельчаемыми частицами нагрузка для данного случая $(n_{\Delta t})_{\max} = n_3$

$$\sum_{i=1}^{i=n_3} p_i = n_3 \sigma \frac{\pi \bar{d}^2}{4}. \quad (8)$$

С учетом (7)

$$\sum_{i=1}^{i=n_3} p_i = \frac{15 D_{\max} \varepsilon \sigma \sqrt{R_{cp}}}{4 \bar{d}}. \quad (9)$$

Произведя оценку выражения (9) при $\sigma = 30 \text{ кг/мм}^2$; $D_{\max} = 8 \text{ мм}$; $\varepsilon = 0,05$; $\bar{d} = 1 \text{ мм}$; $\rho_{cp} = 12 \text{ мм}$ по [3], полу-

чим. $\sum_{i=1}^{i=n_3} p_i \approx 113 \text{ кг/мм}$.

Для упрощения дальнейших расчетов будем считать, что путь трения зависит только от количества мелющих тел, вступающих в контакт с внутренней поверхностью корпуса. В каждый момент времени в контакт с корпусом входит одинаковое их количество; скорость перемещения шаров принимаем максимальной – скорость в переносном движении [4]

$$g_e = f_e \sqrt{1 + \left(\frac{1 - f_e}{2} \right) \frac{l^2}{l^2 + (R - r(\varphi))^2}} \omega r, \quad (10)$$

где f_e – коэффициент трения между стенками рабочей камеры и мелющими телами; l – длина рабочей камеры; R – максимальный радиус рабочей камеры; r – минимальный радиус рабочей камеры; ω – частота вращения мелющих тел.

Количество мелющих тел, контактирующих с помольной камерой равно

$$I_{кол} = \frac{\pi(2R - d_{ш})}{d_{ш}}. \quad (11)$$

Путь изнашивания определится, как $L_0 = g_e t I_{кол} l$, откуда время работы рабочей камеры до наступления предельного состояния (до достижения износа z_0) определяется

$$t = \frac{L_0}{g_e I_{кол} l} = \frac{z_0}{J g_e I_{кол} l}. \quad (12)$$

Получено аналитическое выражение показывающее зависимость времени эксплуатации рабочей камеры до наступления предельного состояния от геометрических и технологических параметров измельчения, а так же от физико-механических свойств измельчаемого материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буше Н.Е. К вопросу о процессах происходящих на поверхности трения. В кн.: О природе трения твердых тел. Минск, Наука и техника, 1971. С. 75-77.
2. Хазов Б.Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. – М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
3. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
4. Лозовая С.Ю., Исследование эксплуатационных характеристик помольных устройств с целью определения зависимостей для получения готового продукта с заданными свойствами Известия ВУЗ Химия и химическая технология 2004. Т.47. №8. С. 82-85.