

Таким образом, на основании проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

1. Конструктивная конфигурация расположения раскосов в панелях нижней горизонтальной фермы значительно влияет на деформированное состояние металлоконструкции стрелы башенного крана.

2. Максимальные усилия в стержнях незначительно больше при непараллельном расположении раскосов в панелях нижнего пояса (модель №1), по итогам сравнительного анализа максимальная разница усилий в стержнях модели №1 и модели №2 составила 7,3%.

В это же время деформации кручения значительно больше в стреле с параллельными раскосами (модель №2), процентная разница значений перемещений по узлам может достигать до 95%. Данная конструктивная конфигурация стрелы испытывает больший прогиб и сильное кручение, что ограничивает её применение в конструкциях башенных кранов.

#### Список литературы

1. Бокаева, В.Б. Состояние строительной отрасли России / В.Б. Бокаева // Вестник промышленности. – 2018. – №1. – С. 4-5.
2. Лагерев, И.А. Оптимальное проектирование подъёмно-транспортных машин: монография [Текст] / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2013. – 228 с.
3. Лагерев, И.А. Расчёты грузоподъёмных машин методом конечных элементов: монография / И.А. Лагерев. – Брянск: Издательство БГТУ, 2013. – 116 с.

УДК 621.926

#### ПРУЖИННАЯ МЕЛЬНИЦА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЖИДКОТЕКУЧИХ КОМПОЗИЦИЙ

*Л.А. Сиваченко<sup>1</sup>, И.М. Дыдышко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», г. Могилев

<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», г. Барановичи

*В статье описывается конструкция пружинной мельницы, в которой процесс помола осуществляется на основе управляемого движения перерабатываемой среды. Методология его решения заключается в том, что с помощью набора гибких износостойких лент зазор между стенками рабочей камеры и наружной поверхностью пружинного рабочего органа сводится к нулю, что позволяет исключить проскоки частиц материала и увеличить количество одновременно под-*

вергаемого разрушению материала. Этим достигается повышение производительности, снижение энергоёмкости и улучшения качества получаемых продуктов. Мельница может быть использована для тонкого и сверхтонкого помола по мокрому способу.

*Ключевые слова:* пружинная мельница, рабочий орган, пружина, помол, управляемое движение, гибкие ленты, композиция, механизм разрушения.

#### SPRING MILL FOR OBTAINING ULTRADISPERSED LIQUID COMPOSITIONS

**L. A. Sivachenko<sup>1</sup>, I. M. Dydushko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>State Institution of Higher Professional Education "Belarusian-Russian University", Mogilev

<sup>2</sup>Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi

*The article describes the design of a spring mill, in which the grinding process is carried out on the basis of controlled motion of the processed medium. The methodology of this solution lies in the fact that with a set of flexible wear-resistant tapes the gap between the walls of the working chamber and the outer surface of the spring working body is reduced to zero, which eliminates the slippage of the material particles and increases the amount of material simultaneously exposed to destruction. This achieves an increase in productivity, reduces energy consumption and improves the quality of the products. The mill can be used for fine and ultrafine grinding, by wet method.*

*Key words:* spring mill, working body, spring, grinding, controlled motion, flexible belts, composition, destruction mechanism.

Процессы тонкого и сверхтонкого помола материалов имеют чрезвычайно широкое применение в промышленности. На их проведение затрачивается огромное количество энергетических, материальных и трудовых ресурсов. Для целого ряда производств эти процессы являются определяющими, а от качества получаемых материалов зависит конкурентоспособность и эффективность эксплуатации многих видов современных изделий. Сегодня порошковые технологии формируют целые кластеры композитных материалов и служат базой для создания новых производств [1,2].

Для получения различных видов порошков наибольшее применение имеют механические способы, осуществляемых в мельницах разных конструкций: шаровых, вибрационных, планетарных, струйных, атриторах, бисерных, вихревых, ударно-центробежных, пневмоимпульсных, дезинтеграторах, электромагнитных и других. В

последние годы наиболее активно развиваются аппараты, которые работают по мокрому способу, что позволяет получать более мелкие по размерам частицы по сравнению с помолом в сухом состоянии и связано с блокированием жидкой средой поверхностной энергии разрушаемых микротел [3,4].

Следует признать, что в настоящее время в мировой практике самое широкое применение для тонкого и сверхтонкого помола жидкотекучих композиций, прежде всего лакокрасочных составов. При этом бисерные мельницы характеризуются очень высокой энергоемкостью процесса, а их использование для помола и диспергирования высокоабразивных продуктов связано с большим износом и стоимостью мелющей гарнитуры. Первопричина этих недостатков заключается в неуправляемости собственно рабочего процесса помола, в частности, единичных актов разрушения частиц материала, когда в силу хаотичности и неопределенности только очень малое количество активных взаимодействий рабочих тел, т. е. бисера, совершает непосредственно работу измельчения [5].

Для поиска альтернатива бисерным мельницам нами разрабатываются пружинные мельницы многоцелевого назначения, включающие в себя раму, привод, рабочую камеру в виде дугообразно изогнутой трубы, с опорами на ее концах, на валах которых смонтирован пружинный рабочий орган, причем концы камеры снабжены патрубками для загрузки и выгрузки материала [6]. Рабочий процесс такого аппарата заключается в организации захвата частиц измельчаемого материала боковыми поверхностями витков и создания предельного усилия разрушения в момент максимального сближения витков пружинного рабочего органа. Однако, при таком исполнении достаточно сложно организовать управляемое движение потоков частиц, которые в своей основной массе совершают холостые перемещения, что в целом отрицательно сказывается как на эффективности, так и на интенсивности процесса помола.

Последующими исследованиями установлено, что если камеру для обработки материала на 10-70% заполнить мелющими телами, диаметр которых составляет не более 0,9 максимального зазора между витками пружинного рабочего органа в их расходящейся части, интенсивность рабочего процесса существенно возрастает [6]. Однако использование в составе пружинной мельницы мелкой мелющей шаровой загрузки обеспечивает получение очень высоких контактных нагрузений в частицах подлежащих разрушению, но само наличие такой загрузки резко ограничивает рабочий объем и снижает проточное движение обрабатываемой среды. Наличие шаровой среды вызы-

вадет необходимость отделения её от прошедшего обработку продукта и подвергает рабочий орган, т. е. пружину, значительным динамическим нагрузкам, приводящим в итоге к его значительному износу и выходу из строя по критерию снижения усталостной прочности при циклических нагружениях. Следует также иметь в виду, что работу описываемой мельницы крайне сложно, а в большинстве случаев практически невозможно организовать в непрерывном режиме, а, следовательно, обеспечить требуемую производительность.

Определяющим условием при разработке оптимальной конструкции мельницы является управляемое движение обрабатываемой среды в процессе её переработки в межвитковых пространствах пружинного рабочего органа. Собственно пружина является транспортирующим звеном, причем в прямолинейном положении это чисто транспортная машина, а в изогнутом — дополнительный помольный механизм, причем с огромными потенциальными возможностями, так как в идеале непрерывно разрушению может подвергаться большое количество частиц материала. По сути это многовалковая мельница с количеством микровалковых зон разрушения равным числу витков пружинного рабочего органа.

Между тем, в существующих пружинных мельницах строго управляемого движения обрабатываемой среды не происходит. Это обусловлено многими факторами, в частности, наличием большого зазора между внешней поверхностью пружинного рабочего органа и внутренними стенками рабочей камеры, влиянием центробежных сил, закрученного потока материала, приводящих к расслоению различных по крупности и массе частиц по сечению рабочей камеры, а также положением рабочего органа в пространстве, когда в зависимости от угла подъёма его центральной оси относительно горизонта накладывают свое влияние силы тяжести и измельчаемый продукт неравномерно распределяется как по сечению, так и по длине рабочей камеры. Итогом такого положения является существенное снижение эффективности процесса помола по целому набору критериев: энергоёмкости, производительности, качеству помола.

Перечисленные факторы, негативно влияющие на процесс помола, концептуально решаются путем сведения к нулю зазора между наружной поверхностью тела пружины как рабочего органа, прежде всего в зоне минимальных зазоров между витками пружины и стенками рабочей камеры. В предлагаемом техническом решении стенкам рабочей камеры придаются свойства адаптивных звеньев, которые копируют поверхность рабочего органа и запирают потоки измельчаемо-

го материала между его витками, исключая тем самым перечисленные недостатки существующих конструкций пружинных мельниц.

Выбор гибких лент для экранирования рабочей поверхности пружинного рабочего органа продиктован свойствами этих элементов занимать требуемое положение в пространстве и их другими характеристиками — очень малым коэффициентом трения, высокой износостойкостью, возможностью быстрой замены, хорошей восприимчивостью к внешним нагрузкам и перемещениям. В совокупности с другими признаками, в том числе характером установки рабочего органа, целенаправленной подачей и строго организованным движением обрабатываемой среды, исключением до минимума холостых проходов материала без его разрушения в межвитковых пространствах, в предлагаемом исполнении пружинной мельницы реализуется принцип измельчения по методу индивидуального зерна при максимальной энергонапряженности процесса помола, что служит технологической гарантией обеспечения не только тонкого, но и сверхтонкого помола материалов различной физической природы.

Техническая реализация разработанной конструкции пружинной мельницы представлена на рисунке 1. Такой аппарат содержит раму 1 с установленным на ней электродвигателем, муфту 3, приводную опору 4, рабочую камеру 5 с расположенным в ней рабочим органом 6 и патрубками 7, 8 соответственно для подачи исходного и отвода обработанного продукта.

Рабочий орган 6, состоящий из пружины 13, посредством узлов крепления 11, 12 смонтирован соответственно на приводном валу 9 опоры 4 и валу 10 дополнительной опоры 14. Рабочий орган 6 по его длине охватывают гибкие ленты 15, которые посредством зажимов 16 крепятся на элементах внешней стороны рабочей камеры 5. Для обслуживания конструкции рабочая камера 5 имеет крышку 17 и люк 18, а для исключения проскоков материала в ней установлены вертикальные перегородки 21. Механизм разрушения между смежными витками 19, 20 показан для отдельных частиц 21.

Пружинная мельница для сверхтонкого помола работает следующим образом: включается электродвигатель 2 и через муфту 3 приводит во вращение приводной вал 9, расположенный в опоре 4, обеспечивая равномерное вращение связанному с ним посредством узла крепления 11 пружинному рабочему органу 6, который своим вторым узлом крепления 12 смонтирован на оси 10 дополнительной опоры 14. Через патрубок 7 в рабочую зону подается подлежащий обработке продукт — суспензия и, попадая в клиновидные пространства между витками 19, 20 пружины 13, подвергается интенсивному измельчению

путем сжатия со сдвигом. При этом за счет поступательной навивки пружины 13 и некоторого ее наклона по отношению к горизонту обеспечивается равномерное движение перерабатываемой среды от верхней части рабочего органа 6 к нижнему. Время прохождения измельчаемого продукта через рабочее пространство составляет от нескольких секунд до нескольких десятков секунд, в течение которых его элементарные объемы подвергаются многократным механическим и гидромеханическим воздействиям. Обработанный таким образом продукт отводится из рабочей камеры 5 через патрубок 8.

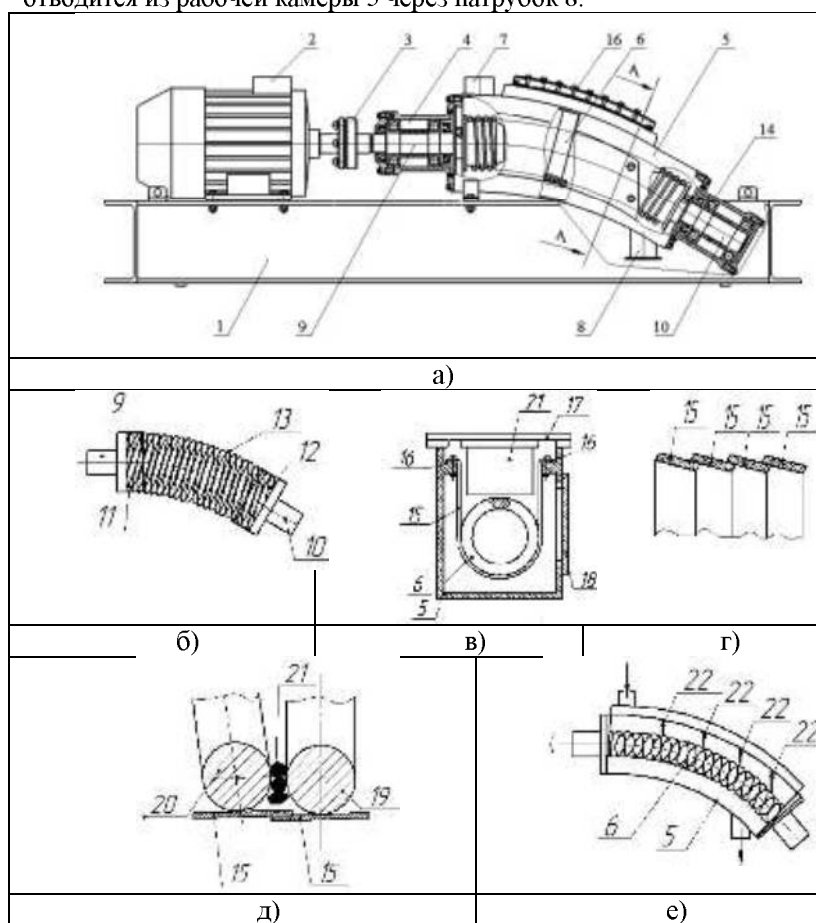


Рис. 1. Конструкция пружинной мельницы для сверхтонкого помола. а) – общий вид; б) – пружинный рабочий орган; в) – поперечное сечение рабочей

камеры, г) – схема установки гибких лент; д) – сечение рабочей зоны помола;  
е) – установка разделительных перегородок

Особенности процессов сверхтонкого помола материалов, когда размеры частиц определяются микронами и их долями. Требуется даже при организованном движении обрабатываемой среды её неоднократных проходов через рабочие зоны. Для этого пружинная мельница должна работать в проточно-циркуляционном режиме и быть в составе технологической линии. Главной отличительной особенностью при этом будет тот факт, что пружинный рабочий орган сам по себе является транспортирующим звеном, а это уменьшает мощность насоса на величину, связанную с прокачкой обрабатываемой среды через рабочую камеру.

В процессе работы аппарата гибкие ленты 15 экранируют пружину 13, прижимаясь с минимальным усилием к её поверхности, что исключает проскок частиц измельчаемого материала и способствует повышению эффективности рабочего процесса в целом. Для обеспечения регулировки лент 15, которые должны быть изготовлены из износостойкого материала, например полиуретана предусмотрены зажимы 16, работа с которыми производится при снятых крышке 17 и люке 18.

Установка гибких лент 15 также должна быть с их взаимным перекрытием с целью исключения проскока частиц материала. При этом консольные перегородки 22 выполняют роль не только элементов для уменьшения прохода необработанного продукта, но и создают своеобразные рабочие камеры, обеспечивая лучшее заполнение межвиткового пространства частицами измельчаемого материала.

Использование предлагаемой конструкции пружинной мельницы целесообразно для переработок жидкотекучих композиций, в частности, лакокрасочных составов, паст, шликеров и многих других дисперсий с крупностью частиц исходного продукта менее 1 мм и твердостью до 4-5 единиц по шкале Мооса с получением высококачественных составов с крупностью частиц менее 2-3 мкм, а при проточно-циркуляционной схеме переработки и менее 1 мкм.

По сравнению с другими аппаратами аналогичного назначения пружинная мельница данной конструкции позволяет в 1,5-2,0 раза уменьшить энергопотребление и увеличить производительность при одновременном исключении таких дорогостоящих расходных материалов, как мелющие тела. Дополнительными важными положительными эксплуатационными факторами следует считать малый шум при работе и незначительный нагрев рабочих зон, что исключает систему охлаждения. Пружинная мельница не требует насосов для прокачки обрабатываемого продукта через её рабочее пространство, так как пружина выполняет функции транспортирующего органа.

Отдельно следует выделить те новые или расширенные качества, которыми обладает разработанная пружинная мельница. Во-первых, пружинный рабочий орган производит максимально качественное перемешивание, диспергирование или гомогенизацию многокомпонентных составов, во-вторых, интенсивный механизм силового воздействия, т. е. высокая энергонапряженность процесса, способствует проведению механоактивации частиц перерабатываемого материала и, в-третьих, очень малое время единичных актов нагружения частиц, их высокая частота и незначительный интервал времени между их проведением позволяют сдвинуть предел крупности получаемых частиц в сторону их уменьшения.

Список литературы

1. Витязь П. А., Высокие технологии в строительной индустрии / П. А. Витязь, В. П. Горабец // строительная наука, — 2009, №6. — С. 4-16.
2. Бабенко С. А., Порошки: получение, свойства, анализ / С. А. Бабенко, А. П. Ильин, В. В. Коробочкин, О. К. Семакина, — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — 264 с.
3. Вайтехович П. Е., Интенсификация и моделирование процессов диспергирования в поле инерционных сил: монография / П. Е. Вайтехович. — Минск: БГТУ, 2008. — 220 с.
4. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия : монография / Л. А. Сиваченко [и др] — Барановичи: БарГУ, 2020. — 359 с.
5. Горловский И. А., Оборудование заводов лакокрасочной промышленности / И. А. Горловский, Н. А. Козулин, Ленинград, Химия, Лен. отделение, 1980. — 376 с — С. 298-299, рис. XVII-6.
6. Сиваченко Л. А., Технологические аппараты адаптивного действия / Л. А. Сиваченко и др: монография — Минск : Изд. Центр БГУ, 2008. — 375 с — С. 138-139, фиг. 3.7.
7. Патент на изобретение РК №29820. Пружинная шаровая мельница, МПК ВО2С 19/22, Авт. Унаспеков Б. А., Сиваченко Л. А., Голбан Е. Г. и др., Опубл. 15.05.2015, бюл. №5.

УДК 621.86

СОЗДАНИЕ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ МОБИЛЬНЫХ  
КАНАТНЫХ ДОРОГ

*Таричко В.И.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. АО «Брянский автомобильный завод», г. Брянск

*В статье рассматриваются вопросы создания базовых станций мобильных канатных дорог на базе габаритных и негабаритных колесных шасси высокой проходимости и грузоподъемности. Рассмотрены основные варианты конструкций базовых станций. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ*