

4. Davis, J. R. Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics // ASM International, Materials Park, Ohio, 2002. – 319 p.
5. Сафонов, Е. Н. Плазменная закалка деталей машин : монография / Е. Ф. Сафонов / М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2014. – 116 с.
6. Веремейчик, А. И. Исследование электрической дуги в потоке гелия в сильноточном плазмотроне / А. И. Веремейчик, М. И. Сазонов, Д. Л. Цыганов // Приборы и техника эксперимента. – 2006. – № 5. – С. 99–102.
7. Батрак, В. В. Исследование электрической дуги в потоке аргона / В. В. Батрак, А. И. Веремейчик, М. И. Сазонов, В. М. Хвисевич // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. – 2008. – № 4 : Машиностроение. – С. 26–28.
8. Даутов, Г. Ю. Напряженность электрического поля в стабилизированной вихрем дуге / Г. Ю. Даутов, М. И. Сазонов // ПМТФ. – 1967. – № 4. – С. 127–131.

УДК 621.926

ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДНЫХ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРОВАЛКОВОГО АГРЕГАТА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СИЛЬВИНИТА

Сотник Л. Л., Дремук В. А., Винничек К. С.

Барановичский государственный университет,
Барановичи, Республика Беларусь

Введение. Внедрение вибротехники в промышленности осуществляется достаточно высокими темпами, так как существующие средства механизации оказались неконкурентоспособными с новой вибрационной техникой [1, 2].

В вибрационных машинах параллельно идут процессы деформирования при знакопеременном или пульсационном нагружении и перемещения в условиях периодических силовых воздействий [1].

Большое значение имеет равномерное распределение материала по ширине рабочих органов. В связи с наличием различных по величине и форме кусков материала объем рабочего пространства в валковых агрегатах используется не в полной мере. При создании вибрационного воздействия материал занимает рабочее пространство более равномерно, повышая тем самым производительность агрегата.

Вибрация разрушает или ослабляет связи в дисперсных средах: под воздействием вибраций различных интенсивностей дисперсные среды переходят в состояние псевдооживления и так называемого виброоживления. При воздействии вибрации легче преодолеваются силы сухого и вязкого трения, снижаются предел пластического деформирования и вязкость [1].

При динамическом нагружении материала возникающие в нем напряжения вдвое больше, чем при статическом [3]. При ударе сила сжатия возникает в определенном сечении так быстро, что трещина образуется до того, как в частице материала устанавливается равновесное распределение энергии, результатом

чего является уменьшение количества энергии, необходимое для осуществления разрыва [4].

Исследования в области дробления материала показывают, что оценку эффективности процесса дробления можно вести по различным отдельным силовым и энергетическим характеристикам [1]. При циклическом воздействии сжимающей нагрузки разрушающие напряжения снижаются примерно в 1,5 раза.

Таким образом, используя реологические свойства измельчения пород и подбирая для них режимы циклического (вибрационного) нагружения, можно обеспечить накопление разрушений, снизить уровень разрушающих нагрузок и повысить эффективность процесса разрушения.

Основная часть. Результаты теоретических исследований и поисковых экспериментов по изучению закономерностей процесса измельчения материалов в вибровалковом измельчителе свидетельствуют о целесообразности реализации в нем раздавливающе-сдвигового и вибрационного деформирования [5]. Такой вид воздействия возможно осуществить за счет установки одного из валков на эксцентриковом валу с эксцентриситетом e и приданием ему определенной угловой скорости [5]. Дополнительное сдвиговое воздействие можно осуществить, придав валкам разную угловую скорость. Данные факторы оказывают влияние на выходные показатели процесса измельчения сильвинита [5].

Экспериментальные исследования проводились на опытном образце вибровалкового измельчителя (КД ВВИА.613242.001) (рисунок 1).

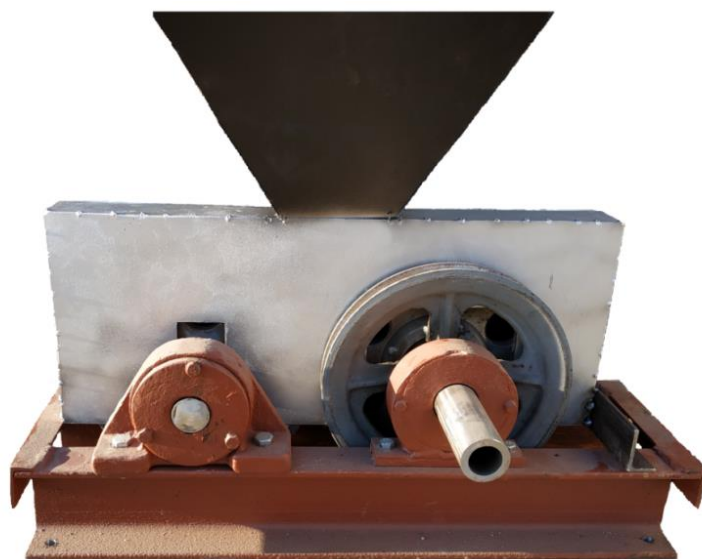


Рисунок 1 — Вибровалковый измельчитель

С целью поиска оптимальных параметров процесса измельчения материала проведены экспериментальные исследования влияния раздавливающе-сдвигового и вибрационного деформирования на выходные показатели:

$$Q_{\text{пр}}, N, q = f(n_{\text{эк}}, e), \quad (1)$$

где $n_{\text{эк}}$ — частота эксцентрикового вала, об / мин;

e — эксцентриситет (амплитуда), мм.

Удельный расход электроэнергии на измельчение минерального сырья с различной структурой определяется:

$$q = f(Q_{\text{пр}}, N), \quad q = \frac{N}{Q_{\text{пр}}} \frac{\text{кВт} \times \text{ч}}{\text{т}} \quad (2)$$

В качестве исследуемого материала был принят сильвинит. Физико-механические характеристики сильвинита представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Физико-механические характеристики сильвинита

Материал	Плотность ρ_0 , кг / м ³	Прочность при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$, МПа	Коэффициент анизотропии $k_{\text{ан}}$	Твердость по шкале Мооса
Сильвинит	1700...2100	50...80	1,2	2

Фракционный состав сильвинита представлен в таблице 2.

Таблица 2 — Фракционный состав сильвинита

Материал	Весовое содержание фракций в %, при размере зерен (мм)				
	3...5	5...7	7...10	10...15	15...25
Сильвинит	4	19	22	37	18

После проведенных экспериментов и обработки их результатов на ПЭВМ были получены следующие уравнения регрессии [5]:

$$Q_{\text{пр}} = 4,64 \cdot 10^{-4} n_{\text{ЭК}} - 1 \cdot 10^{-7} n_{\text{ЭК}}^2 + 0,064e - 0,425; \quad (3)$$

$$N = 5397 - 1,91n_{\text{ЭК}} - 237e + 0,228n_{\text{ЭК}}e + 5,44 \cdot 10^{-4} n_{\text{ЭК}}^2 + 46e^2. \quad (4)$$

Анализ влияния частоты вращения эксцентрикового вала на процесс измельчения. Ранее проведенные теоретические и поисковые исследования [5] позволили установить, что на величину выходных параметров процесса измельчения материалов с различными физико-механическими характеристиками и структурой существенное влияние оказывает частота вращения эксцентрикового вала, создающая вибрационное воздействие на материал.

Вибрационное деформирование частиц осуществляется за счет эксцентрикового вала, вращающегося с различной частотой вращения $n_{\text{ЭК}}$. На рисунке 2 показано влияние частоты вращения эксцентрикового вала на производительность и энергоемкость процесса измельчения.

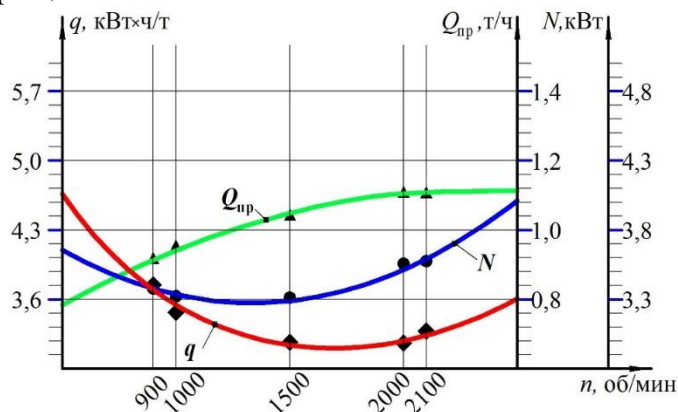


Рисунок 2 — Влияния частоты вращения эксцентрикового вала на процесс измельчения

Как видно из графической зависимости (рисунок 2) варьирование частотой вращения эксцентрикового вала $n_{\text{ЭК}}$ меняет качественные и количественные параметры процесса измельчения.

Так при увеличении $n_{\text{ЭК}}$ с нижнего ($n_{\text{ЭК}} = 1000$ об / мин) уровня варьирования до верхнего ($n_{\text{ЭК}} = 2000$ об / мин) происходит изменение выходных параметров процесса [5]: приведенная производительность возрастает на 17,4 %; потребляемая мощность привода возрастает на 5,3 %. Это приводит к уменьшению удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на осуществление процесса измельчения на 10,3 %.

Таким образом, изменение частота вращения эксцентрикового вала $n_{\text{ЭК}}$ позволяет создать вибрационное воздействие на измельчаемый материал и тем самым повысить эффективность их измельчения [5].

Анализ влияния величины эксцентриситета на процесс измельчения. Проведенные теоретические исследования и поисковые эксперименты показали, что величина эксцентриситета при создании вибраций в вибровалковом измельчителе является амплитудой процесса. На рисунке 3 показано влияние амплитуды колебаний на процесс измельчения.

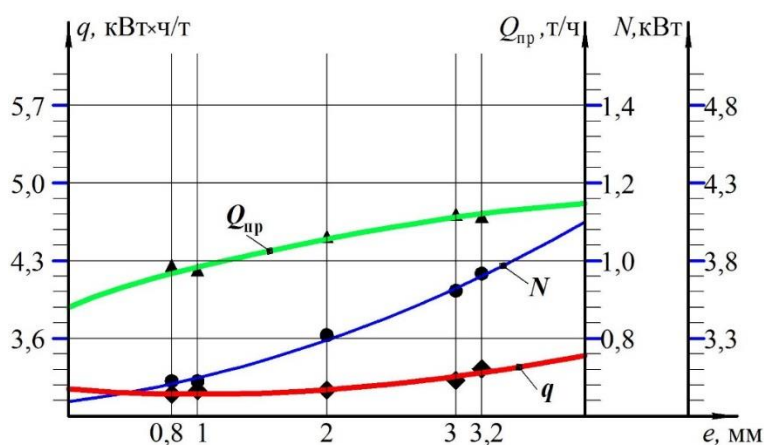


Рисунок 3 — Влияния амплитуды колебаний на процесс измельчения

Как видно из графической зависимости, варьирование величиной эксцентриситета e изменяет качественные и количественные параметры процесса измельчения.

Так при увеличении величины эксцентриситета e с нижнего ($e = 1$ мм) уровня варьирования до верхнего ($e = 3$ мм) происходит изменение качественных и количественных параметров процесса: приведенная производительность возрастает на 13 %.

Создание сдвигового деформирования приводит к совершению большей работы, на что указывает рост потребляемой мощности привода на 19 %. Это приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на осуществление процесса измельчения на 5,3 %.

Таким образом, можно сделать следующий вывод, что применение вибровалкового измельчителя позволяет реализовать объемно-сдвиговое деформирова-

ние измельчаемых материалов. Изменение величины эксцентриситета в диапазоне от 1 до 3 мм приводит к повышению эффективности измельчения материалов за счет увеличения объемно-сдвигового деформирования их частиц [5].

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования по изучению процессов измельчения сильвинита в вибровалковом измельчителе подтвердили теоретически полученные результаты и свидетельствуют о целесообразности реализации раздавливающе-сдвигового и вибрационного деформирования сильвинита.

Согласно уравнениям регрессии, с увеличением частоты вращения эксцентрикового вала, производительность процесса измельчения возрастает на 15...25 %, при этом энергоемкость процесса снижается до 12 %.

Величина эксцентриситета увеличивает производительность процесса измельчения 10...18 %, при этом энергоемкость процесса возрастает на 5...10 %.

Наиболее оптимально процесс измельчения происходит при величине эксцентриситета равном $e = (2...3) \cdot 10^{-3}$ м, на что указывает минимальное значение удельной энергозатраты, выраженное экстремумом функции и равное $q = 3,1$ кВт · ч / т.

Построенные по полученным уравнениям регрессии графические зависимости адекватно отражают процессы измельчения в вибровалковом измельчителе и подтверждают проведенный ранее теоретический анализ и поисковые эксперименты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гончаревич, И. Ф. Вибротехника в горном производстве / И. Ф. Гончаревич. – М. : Недра, 1992. – 319 с.
2. Богданов, В. С. Процессы в производстве строительных материалов / В. С. Богданов, А. С. Ильин, И. А. Семикопенко. – Белгород : Вевелита, 2007. – 512 с.
3. Гутьяр, Е. М. К объемной теории дробления / Е. М. Гутьяр // Изв. Моск. с.-х. акад. им. Тимирязева. – 1961. – Вып. 4. – С. 163–166.
4. Kraus, W. Grinding technique / W. Kraus // Chemie – Ingénieurs – Technique, – 1980. – Vol. 36, № 10. – P. 1053–1060.
5. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия : коллектив. монография / Л. А. Сиваченко [и др.] ; под науч. ред. Л. А. Сиваченко ; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. – Барановичи : БарГУ, 2020. – 359 с.

УДК 621.793:66.088

КРИОГЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Хвисевич В. М.¹, Чекап Н. М.², Веремейчик А. И.¹, Овчинников Е. В.³,
Акула А. П.²*

- 1) Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь
- 2) Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь
- 3) Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь

Нанесение покрытий – один из наиболее широко используемых способов изменения морфологии поверхности, износостойкости, адгезии и усталостной